



Питание растений

Вестник Международного института питания растений

Восточная Европа и Центральная Азия

№1, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

Точное земледелие: Какой в этом смысл?...2

Пространственная неоднородность показателей почвенного плодородия и эффективность дифференцированного применения удобрений в Самарском Заволжье.....6

Выделение зон для дифференцированного внесения удобрений способствует росту производства сахара в Северной Дакоте и Миннесоте.....9

Временная изменчивость отзывчивости сельскохозяйственных культур на удобрения.....12

Начало работы с точным земледелием.....14

Успехи использования наземных сенсоров в сельском хозяйстве Аргентины..18

Обзор научных публикаций.....22

Литература.....25

Студенческая премия-2011.....26

Международный Институт Питания Растений

Иванова С.Е., вице-президент программы по Восточной Европе, Центральной Азии и Ближнему Востоку
e-mail: sivanova@ipni.net

Носов В.В., директор программы на Юге и Востоке России
e-mail: vnosov@ipni.net

125466 Россия, Москва,
ул. Ландышева, д. 12, вл. 17а
тел./факс: +7 (495) 637 92 93
www.ipni.net
www.eeca.ipni.net
ipni-eeca@ipni.net



Уважаемый читатель, в этом выпуске вестника мы публикуем статьи, обобщающие опыт по применению и адаптации дифференцированного внесения минеральных удобрений в системах точного земледелия в странах с индустриальным сельхозпроизводством (Россия, Аргентина, США и Канада). Системы точного земледелия на основе дискретного агрохимического обследования с геоинформационным и навигационным обеспечением (GPS-оборудование), карт урожайности, аэроснимков и спутниковых изображений полей позволяют вносить минеральные удобрения с учетом пространственной и временной изменчивости химических и физических свойств почвы, которые приводят к внутрипольной пестроте урожайности. Агротехнические операции по дифференцированному внесению минеральных удобрений позволяют оптимизировать затраты на минеральные удобрения и снизить себестоимость конечной продукции с заданными качественными характеристиками. В России в настоящее время есть несколько научных центров, где происходит адаптация этой агротехнологии. Среди лидеров – Фонд сельскохозяйственного обучения (Самарская область), с достижениями которого мы познакомим Вас на страницах этого выпуска.



Иванова С.Е. с победителем конкурса Scholar Award-2010 Сакеном Сулейменовым (КазАТУ)

Я только что вернулась из Астаны (Казахстан), где прошла Республиканская научно-теоретическая конференция «Сейфуллинские чтения – 7», посвященная 20-летию Независимости Республики Казахстан. Конференция была организована Казахским агротехническим университетом им. С.Сейфуллина (КазАТУ). В торжественной обстановке диплом и премия Международного Института Питания Растений были вручены выпускнику университета Сакену Сулейменову - победителю конкурса студенческих и аспирантских работ в 2010. В этом выпуске вестника мы анонсируем конкурс студенческих и аспирантских работ в 2011 году с надеждой поддержать талантливых молодых исследователей в области агрохимии, почвоведения и растениеводства. Мы будем искренне признательны, если Вы можете нам довести информацию об этом конкурсе до потенциальных участников.

С уважением,
Светлана Иванова,
глава Филиала Международного института питания растений в РФ

Студенческая премия - 2011

Конкурс научных работ студентов и аспирантов по почвоведению, агрохимии, агрономии, растениеводству, садоводству и овощеводству, химии почв, физиологии растений и смежным специальностям.



Подробности на стр. 26

125466 Москва ул.Ландышева, д.12, вл.17а

www.ipni.net

www.eeca.ipni.net

Точное земледелие: Какой в этом смысл?

В.И. Адамчук

Слово «sense» (чувство, смысл) обычно относится к пяти человеческим чувствам, однако словосочетание «taking sense» (иметь смысл) описывает наши попытки интерпретировать информацию, которая кажется запутанной или противоречивой. В точном земледелии важны оба значения. В то время как оборудование и программное обеспечение развились до практического внедрения дифференцированных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, вопрос о том, какой механизм принятия решений должен использоваться, остается открытым. Таким образом, рассматривая карты урожайности и/или аэроснимки, сравнительно легко идентифицировать проблемную область в пределах данного поля, но не всегда очевидно, что должно или, по крайней мере, может быть сделано для решения проблемы. В статье обсуждаются различные сенсорные технологии для оценки почв и растений, которые разработаны в мире для решения данного вопроса, заслуживающего особого внимания.

Концепция точного земледелия основана на идее о том, что неоднородность условий выращивания растений является одной из основных причин внутрипольной пестроты урожайности, и представлении о целесообразности расходования средств химизации в соответствии с локальными изменениями почвенных свойств (Robert, 1993).

Для проведения работ по точному земледелию у сельхозпроизводителя должна быть высококачественная информация о пространственном варьировании различных почвенных показателей, которые могут лимитировать урожайность на конкретных участках поля. Невозможность получения такой информации оперативно и по приемлемой цене, используя отбор почвенных образцов и их лабораторный анализ, остается одним из главных препятствий для внедрения точного земледелия. Для получения слоев с высокой плотностью расположения данных по почвенным показателям используются технологии как наземного, так и дистанционного зондирования. При дистанционном зондировании сенсорные системы устанавливаются на воздухоплавательных платформах или космических спутниках. Наземное зондирование требует размещения сенсора вблизи или даже в контакте с обследуемой почвой. Это позволяет про-

Примечание: Упоминание какой-либо компании или продукта не означает, что они продвигаются или рекомендуются автором или издателем.

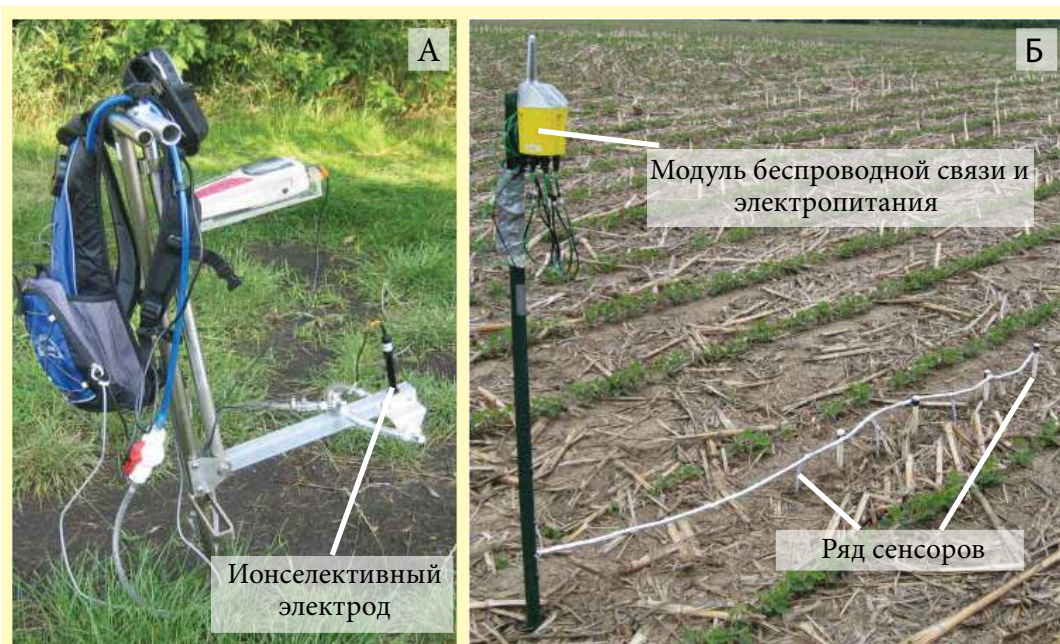


Рис. 1. Оборудование для: а) точечных измерений pH почвы с использованием ручного зонда (Университет Небраски-Линкольна, г. Линкольн, штат Небраска, США), б) точечного мониторинга матричного потенциала почвенной влаги и температуры почвы («Кроссбоу Технолоджи, Инк.», г. Сан-Хосе, штат Калифорния, США).

водить измерения почвенных характеристик *in situ* для конкретных участков на поверхности почвы или глубже (McBratney et al., 2005). Аналогичным образом зондирование сельскохозяйственных культур на уровне растительного покрова или отдельных листьев обеспечивает получение данных о состоянии конкретных растений, которые часто могут быть связаны с условиями произрастания в данном месте.

Некоторые наземные сенсорные системы могут работать в поле в стационарном положении и использоваться для: 1) проведения измерений в одной точке, 2) выполнения серии измерений на разных глубинах в заданной точке или 3) мониторинга изменений почвенных свойств за период времени при установке сенсоров в определенной точке. Например, на **рис. 1а** показан ручной зонд, разработанный для локальных измерений величины pH почвы или активности ионов (например, NO_3^- или K^+) на заданной глубине. На **рис. 1б** показано расположение модуля для беспроводного мониторинга матричного

потенциала почвенной влаги и температуры почвы на четырех глубинах с 15-минутным интервалом. Хотя измерения в одной точке и могут быть полезны в ряде случаев, тематические почвенные карты высокого разрешения обычно создаются на основе измерений, выполненных при перемещении сенсорных систем в ландшафте. Эти наземные технологии почвенного зондирования в движении привели к созданию междисциплинарной области исследований, которая занимается разработкой необходимых инструментов для точного земледелия и других сфер деятельности, связанных с управлением природными ресурсами (Hummel et al., 1996; Sudduth et al., 1997; Adamchuk et al., 2004; Shibusawa, 2006). Наземные растительные сенсоры применяются для определения физиологических параметров (например, биомассы, содержания хлорофилла, высоты растений и др.), которые являются индикаторами пространственной неоднородности состояния сельскохозяйственных культур, включая, например, недостаток азота или водный стресс (Solarì et al., 2008; Samborski et al., 2009).

Сенсоры используются в дополнение и к «прогностическим», и к «реагирующим» подходам к дифференцированию агротехнологических приемов. При «реагирующем» (в реальном времени) способе размещения сенсора вносимая доза изменяется в ответ на изменение местных условий, фиксируемых сенсором во время внесения. Прогностическая (основанная на картограммах) стратегия, напротив, включает использование большого количества почвенных сенсоров для создания картограмм почвенных свойств, которые могут обрабатываться и интерпретироваться вне поля для принятия решений об оптимизации распределения применяемых средств химизации. К сожалению, измерения в реальном времени не всегда реалистичны из-за запаздывания во времени или же являются неприменимыми, когда пространственное распределение измеряемых почвенных свойств (например, удельной электропроводности) не меняется в течение сезона выращивания. С другой стороны, большая часть

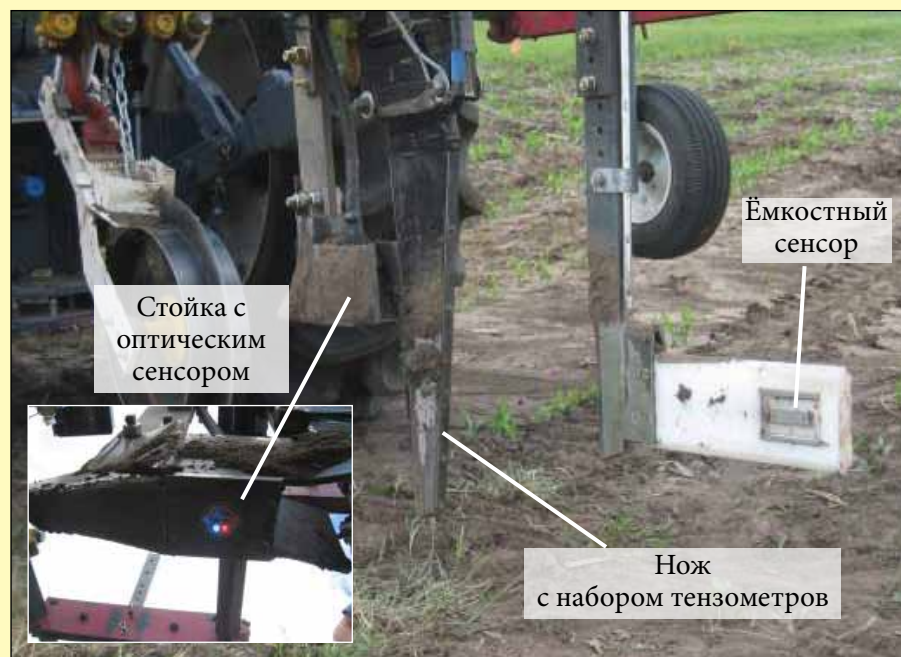


Рис. 2. Опытный образец, состоящий из механических, электрических и оптических сенсорных компонентов (Университет Небраски-Линкольна, г. Линкольн, штат Небраска, США).

Таблица 1. Прогнозирование основных почвенных свойств при использовании разных принципов почвенного зондирования

Почвенные свойства	-----Почвенные сенсоры-----				
	Электрические и электромагнитные	Оптические и радиометрические	Механические	Акустические и пневматические	Электрохимические
Грансостав (ил, пыль и песок)	хорошо	отлично		грубо	
Органическое вещество или общий углерод	грубо	хорошо			
Влажность	хорошо	хорошо			
Степень засоления (натрий)	отлично				грубо
Уплотнение (плотность)			хорошо	грубо	
Глубина залегания ортштейнового горизонта	грубо		отлично	грубо	
pH		грубо			хорошо
Нитратный азот (общий азот)	грубо	грубо			отлично
Другие элементы питания (калий)		грубо			отлично
ЕКО (показатели буферных свойств)	отлично	отлично			

динамических параметров (например, индексы состояния растений) должна определяться в реальном времени для того, чтобы дифференцированное применение средств химизации могло выполняться своевременно для устранения причины, вызвавшей изменения в состоянии растений. Поэтому разные научно-исследовательские группы в своих последних работах сосредоточились на наиболее перспективном – интегрированном методе.

основные типы почвенных сенсоров, работающих в движении, и соответствующие агрономические свойства почв, от которых зависит величина сигнала. Во многих случаях приемлемая корреляция между показаниями сенсора и конкретными агрономическими свойствами почвы получалась для отдельных типов почвы или же достигалась в случае незначительного варьирования мешающих параметров.

На **рис. 2** в качестве примера показан прототип интегрированной системы кар-

тирования физических свойств почвы (integrated soil physical properties mapping system, ISPPMS), разработанный в Университете Небраски-Линкольна. На **рис. 3** приведен другой пример – передвижная сенсорная платформа (mobile sensor platform, MSP), которая объединяет в себе устройства по автоматическому измерению и картированию удельной электропроводности и pH почвы, работающие с приемником глобальной навигационной спутниковой системы (global navigation satellite system, GNSS) сантиметровой точности. В этих методах используются разные типы сенсоров. Система ISPPMS измеряет диэлектрические свойства почвы при использовании ёмкостного сенсора для обеспечения лучшей расшифровки значений механического сопротивления почвы, которые получены с помощью оснащенного тензометрами ножа, и измерений оптической отражательной способности почвы, выполненных с использованием набора фотодиодов. С практической точки зрения такая система может использоваться для учета пространственного варьирования влажности почвы и содержания органического вещества, а также плотности почвы. При использовании сельхозпроизводителями метода MSP, исходя из значений pH почвы, отображаются участки поля с кислой почвой, а измерения удельной электропроводности используются для косвенной оценки количества извести, необходимого для повышения pH почвы до требуемого уровня (с учетом почвенной серии). Использование приемника GNSS сантимет-



Рис. 3. Передвижная сенсорная платформа Veris® с блоками измерения-картирования удельной электропроводности и pH почвы («Верис Технолоджис, Инк.», г. Салина, штат Канзас, США), оборудованная приемником GNSS сантиметровой точности Trimble AgGPS® 442 («Тримбл Навигейшн Лтд.», г. Саннивейл, штат Калифорния, США).

Существует большое разнообразие конструктивных принципов, но большинство разработанных почвенных сенсоров, работающих в движении, основывается на одном из следующих методов измерений: 1) электрические и электромагнитные сенсоры, которые измеряют удельное электрическое сопротивление/удельную электропроводность или электроёмкость, зависящие от состава анализируемой почвы; 2) оптические и радиометрические сенсоры, которые используют электромагнитные волны для определения уровня энергии, поглощаемой/отражаемой или излучаемой почвенными частицами; 3) механические сенсоры, измеряющие силы воздействия инструмента на почву; 4) акустические сенсоры, которые измеряют звук, производимый инструментом при взаимодействии с почвой; 5) пневматические сенсоры, оценивающие способность воздуха проникать в почву; 6) электрохимические сенсоры, использующие ионселективные мембраны, на которых создается электрическое напряжение в зависимости от активности отдельных ионов (например, иона водорода, K^+ , NO_3^- и др.).

В идеале почвенный сенсор должен отзываться на варьирование только одного почвенного показателя и тесно коррелировать с результатами общепринятого специфического аналитического метода. К сожалению, в действительности каждый разработанный сенсор реагирует на изменение нескольких почвенных свойств. Разделение их влияния является сложной задачей; процесс зависит от многих факторов, характерных для конкретного региона. В **табл. 1** обобщены

ровой точности позволяет сельхозпроизводителю получить качественную карту высот поля. Для незасоленных почв объединение информации о рельефе ландшафта с результатами геофизических измерений, таких как удельная электропроводность, дает полезную информацию о пространственном варьировании водоудерживающей способности и величины потенциального смыва почвы.

В целом, результаты наземного зондирования почв обеспечивают получение недорогой информации о пространственном варьировании с высокой плотностью данных. Полученные карты интегрируются с цифровыми картами высот для отображения участков поля с существенно различающимися условиями произрастания сельскохозяйственных культур, а также для определения участков с целью целенаправленного отбора почвенных образцов. Отбор почвенных образцов и лабораторные анализы остаются крайне важными компонентами процесса картирования даже при использовании наземного зондирования. Однако количество образцов, необходимое для характеристики неоднородности поля, может быть гораздо меньшим, чем при систематическом дискретном отборе образцов, поскольку пространственная неоднородность многих почвенных свойств может быть с высокой степенью точности отображена с помощью почвенного зондирования в движении. В настоящее время ведутся исследования по определению наиболее эффективной стратегии отбора образцов для увеличения информативности почвенных сенсоров, работающих в движении (Lesch, 2005; Minasny and McBratney, 2006; de Gruijter, 2008; Adamchuk et al., 2008).

Растительные сенсоры используются для определения параметров, связанных с физическим размером сельскохозяйственных культур, при помощи механических, ультразвуковых и других методов наземного зондирования. Сенсоры, измеряющие оптическую отражательную способность, в последнее время стали широко применяться для измерения способности растительного покрова отражать свет в видимой и ближней инфракрасной областях спектра электромагнитного излучения. Исходя из физических размеров сельскохозяйственных культур, осуществляется дифференцированное внесение средств химизации в соответствии с прогнозируемой потребностью, тогда как зондирование состояния растений применяется для корректировки системы применения удобрений и/или полива в течение сезона с целью поддержания требуемой доступности элементов питания и/или воды. Однако было отмечено, что при изменении почвенных условий в течение сезона на разных участках поля может потребоваться применение разных доз удобрений с учетом пространственных различий в отзывчивости растений.

Заключение

Информация о внутриспольном варьировании различных почвенных показателей очень важна для процесса принятия решений в точном земледелии.

Наземное зондирование почвы в движении является наиболее перспективным способом получения столь необходимых измерений основных почвенных свойств с высокой плотностью точек измерения. Системы наземного зондирования почв основаны на таких методах измерения, как электрические и электромагнитные, оптические и радиометрические, механические, акустические, пневматические и электрохимические. Основное преимущество зондирования в движении – возможность количественной оценки внутриспольной гетерогенности (неоднородности) почвы и корректировки подходов к получению других данных и, соответственно, к агротехнике. Интеграция различных систем зондирования на мультисенсорных платформах позволяет лучше прогнозировать агрономические показатели почвы. Дополнительные опции по зондированию растений позволяют сельхозпроизводителям использовать полученные измерения для корректировки агротехнических операций в течение сезона в режиме реального времени.

Д-р Адамчук – адъюнкт-профессор кафедры проектирования биологических систем Университета Небраски-Линкольна, e-mail: vadamchuk2@unl.edu

Перевод с английского под редакцией В.В. Носова, С.Е. Ивановой.

Литература

- Adamchuk, V.I., J.W. Hummel, M.T. Morgan, and S.K. Upadhyaya. 2004. Computers and Electronics in Agriculture, 44: 71–91.
- Adamchuk, V.I., R.A. Viscarra Rossel, D.B. Marx, and A.K. Samal. 2008. Enhancement of on-the-go soil sensor data using guided sampling. In Proceedings of the Ninth International Conference on Precision Agriculture, Denver, Colorado, 20-23 July 2008, ed. R. Kholsa. Fort Collins, Colorado: Colorado State University (CD publication, 13 pages).
- de Gruijter, J.J., A.B. McBratney, and J. Taylor. 2008. Sampling for high resolution soil mapping. In Proceedings of the First Global Workshop on High Resolution Digital Soil Sensing and Mapping, 5-8 February 2008, The University of Sydney, Australia.
- Hummel, J.W., L.D. Gaultney, and K.A. Sudduth. 1996. Computers and Electronics in Agriculture, 14: 121–136.
- Lesch, S.M. 2005. Computers and Electronics in Agriculture, 46(1), 153–180.
- McBratney, A., B. Whelan, T. Ancev, and J. Bouma. 2005. Precision Agriculture, 6: 7-23.
- Minasny, B. and A.B. McBratney. 2006. Computers and Geosciences 32(9), 1378-1388.
- Robert, P.C. 1993. Geoderma, 60: 57-72.
- Samborski, S.M., N. Tremblay, and E. Fallon. 2009. Agron. Journal, 101: 800-816.
- Shibusawa, S. 2006. Soil sensors for precision agriculture. In Handbook of Precision Agriculture. Principles and Applications, A. Srinivasan, ed., 57.90. Food Products Press, New York, New York, USA.
- Solari, F., J. Shanahan, R. Ferguson, J. Schepers, and A. Gitelson. 2008. Agron. Journal, 100: 571–579.
- Sudduth, K.A., J.W. Hummel, and S.J. Birrell. 1997. Sensors for site-specific management. In The State of Site-Specific Management for Agriculture, F.T. Pierce and E.J. Sadler, eds., 183-210. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Пространственная неоднородность показателей почвенного плодородия и эффективность дифференцированного применения удобрений в Самарском Заволжье

А. Цирулев

В статье представлено сравнение традиционного и современного подхода к проведению агрохимического обследования полей. Современные методы предусматривают использование GPS-оборудования с точным фиксированием места отбора проб, автоматического пробоотборника, специального программного обеспечения для создания картограмм содержания питательных элементов.

Традиционно агрохимическое обследование проводится вручную, и самое главное, без точной привязки к местности. Поэтому при повторном обследовании нельзя с уверенностью утверждать, что почвенные пробы были взяты в том же самом месте. Следовательно, информация, полученная таким способом, не отражает реальную картину и динамику изменения почвенных показателей на поле, что в

свою очередь приводит к неверным результатам расчёта доз удобрений. А это отражается как на экономике сельскохозяйственного предприятия, так и на экологической обстановке (Якушев, 2002).

В рамках выполнения научно-исследовательской работы по заказу Министерства сельского хозяйства и продовольствия Самарской области была апробирована новая методика дискретного агрохимического обследования с геоинформационным и навигационным обеспечением. Исследования проводили в условиях сельскохозяйственного предприятия ЗАО «Самара-Солана» Ставропольского района области (преобладающие почвы хозяйства – обыкновенные черноземы). Содержание в почве гумуса, подвижных форм фосфора и калия (по Мачигину), а также реакция почвенной среды (pH_{H_2O}) были определены в 2007 году в почве десяти полей хозяйства общей площадью 776 га. Отбор образцов почвы осуществляли с использованием мобильного автоматизированного комплекса, состоящего из следующих компонентов: навигационной системы AgGPS EZ-Guide Plus со встроенным высокоточным GPS-приемником; полевого компьютера AgGPS 170, оснащенного программным обеспечением AgGPS Field Manager; автоматического пробоотборника Fritzmeier Profi 90. Поля разбивались на элементарные участки площадью 4 га (200 x 200 м), с каждого из них с помощью

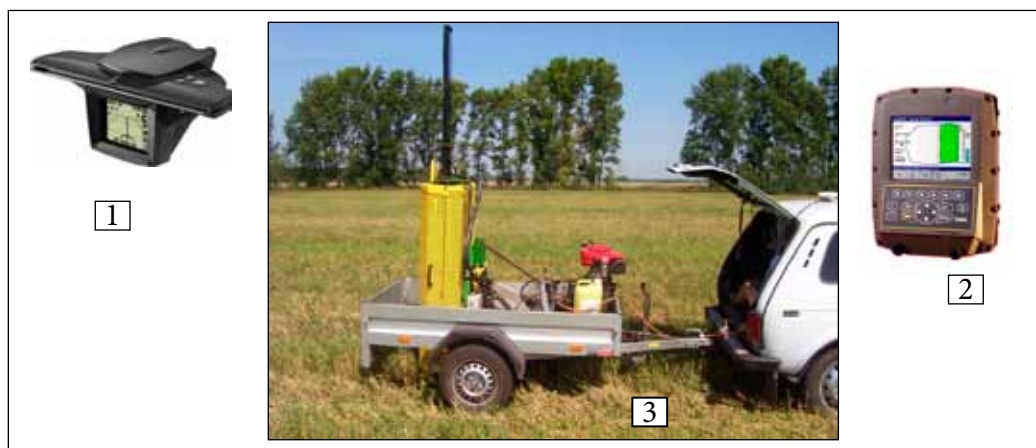


Рис. 1. Общий вид мобильного автоматизированного комплекса для агрохимического обследования: 1 – GPS-приемник навигационной системы AgGPS EZ-Guide Plus; 2 – полевого компьютера AgGPS 170; 3 – автоматический пробоотборник Fritzmeier Profi 90.

автоматического пробоотборника, который перемещался по диагонали участка, отбирали по 10 проб почвы из слоя 0-30 см. Из них была составлена объединенная проба, которая использовалась в агрохимическом анализе (при традиционной методике агрохимического обследования пашни смешанный образец отбирается с 25-40 га). В результате поля характеризовались выборками показателей по 10-30 участкам в зависимости от их площади.

В табл. 1 представлены данные статистической обработки данных агрохимического обследования почв – оценки средних величин показателей почвенного плодородия, их коэффициентов вариации и пределов варьирования. Анализ варибельности агрохимических показателей по участкам полей выявил, что самыми изменчивыми показателями были подвижный фосфор, для которого коэффициент вариации по полям составил 19-51%, а также подвижный калий – 18-37%. Средняя степень варибельности была характерна для гумуса (7-15%), а низкая изменчивость отмечалась по показателю реакции почвенной среды (2-5%). Таким образом, исследование позволили выявить значительные пространственные различия агрохимических показателей плодородия черноземной почвы (особенно подвижных форм фосфора и калия) даже в условиях выровненного рельефа сельскохозяйственных полей. Это

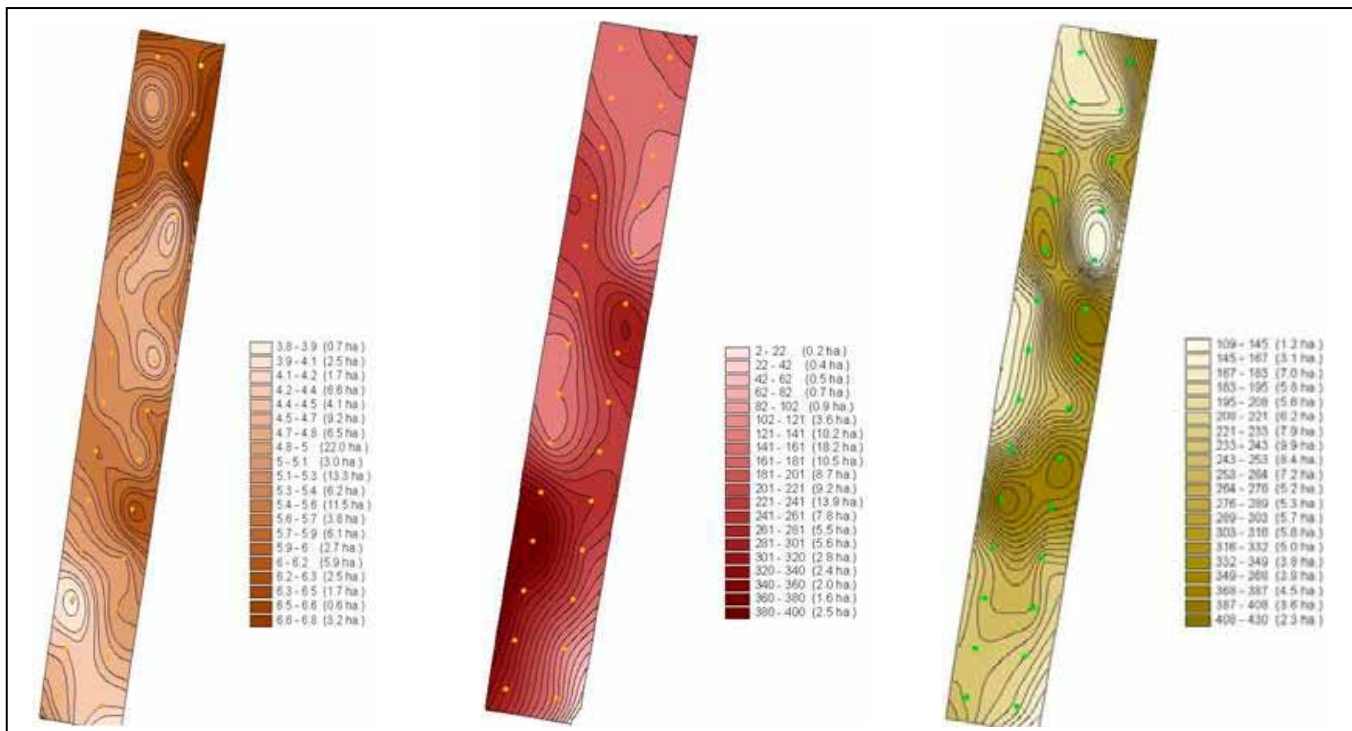


Рис. 2. Электронные картограммы содержания гумуса, подвижных форм фосфора и калия в почве экспериментального поля № 9 ЗАО «Самара-Солана»

Показатели	Номера полей ЗАО «Самара-Солана»									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Гумус*, %	4,63 4,43-4,83 8,81	4,78 4,36-5,20 8,92	5,32 4,68-5,96 15,14	5,05 4,81-5,29 6,94	5,06 4,54-5,58 12,29	5,27 4,89-5,65 7,73	4,73 4,47-4,99 9,52	4,62 4,45-4,79 7,04	4,44 4,12-4,76 10,62	4,33 4,12-4,54 7,20
Подвижный фосфор, мг/кг	168 144-192 27,0	153 73-232 51,4	188 140-237 32,9	174 156-191 15,9	190 165-214 16,1	225 157-293 31,7	281 248-313 20,5	226 202-250 18,5	154 123-185 30,3	116 84-148 42,5
Подвижный калий, мг/кг	228 185-270 35,2	215 177-254 17,8	268 199-337 32,8	286 220-352 35,7	288 203-374 36,4	331 215-447 36,9	363 300-426 31,1	261 220-303 27,3	210 176-242 24,5	237 184-290 34,8
pH (H ₂ O), единиц	6,73 6,59-6,87 4,02	6,97 6,78-7,16 2,54	6,61 6,46-6,76 3,00	6,13 6,01-6,25 3,19	6,19 5,95-6,43 5,12	6,76 6,54-6,98 3,64	6,56 6,41-6,71 3,95	6,75 6,63-6,87 2,97	7,02 6,90-7,14 2,34	7,03 6,91-7,15 2,51
Объем выборки	30	10	15	21	14	11	27	25	20	21

* Примечание:
 первая строка – средние величины показателей;
 вторая строка – пределы колебания значений (доверительные интервалы);
 третья строка – коэффициенты вариации

обосновывает целесообразность пространственно-дифференцированного применения удобрений, как важного приема выравнивания плодородия поля. По оценкам, дифференцированное применение удобрений в современных условиях в России имеет смысл, если пространственная неоднородность в содержании подвижных форм элементов питания в почвах составляет 20% и более (Афанасьев, 2010).

Использование геоинформационной системы (программы SStoolbox в данной технологии) позволяет интерполировать результаты анализов почвы от участков по всему полю, выявить закономерности пространственного распределения питательных элементов почвы и построить электронные карты и картограммы, в которых отражены инфор-

мационные слои данных одинакового уровня в пространстве поля (рис. 2). На картограммах по каждому анализируемому показателю выделяется сеть однородных участков 20-ти уровней (число уровней регулируется), распределенных пространственно в пределах сельскохозяйственного поля. Детальный учет распределения элементов питания необходим при расчете дифференцированных доз внесения удобрений на участках разных уровней содержания элементов питания в почве. Расчет дозы удобрений на планируемый урожай проводится в автоматическом режиме, исходя из конкретной обеспеченности каждого элементарного участка, используя встроенный в программу редактор формул. Карта-задание на внесение удобрений создается для каждого

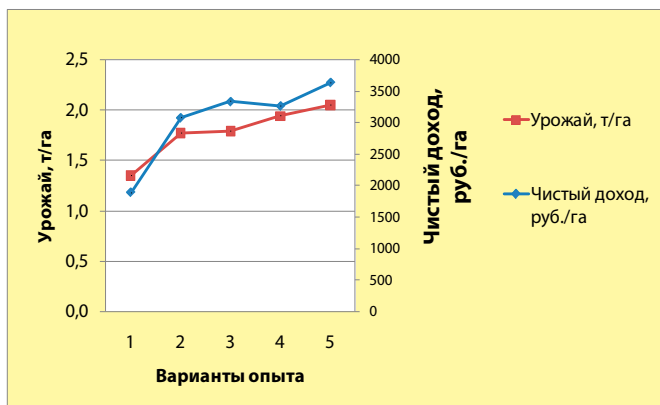


Рис. 3. Урожайность яровой пшеницы и чистый доход (руб./га) в зависимости от применяемых технологий возделывания в полевом опыте в условиях производства ЗАО «Самара-Солана» в 2007 г. (Цирулев, 2008):

- 1 – Экстенсивная технология без применения удобрений (контроль)
- 2 – Нормальная технология (удобрения в принятых в хозяйстве дозах)
- 3 – Нормальная технология с применением GPS-навигации
- 4 – Интенсивная технология (расчетные дозы удобрений на планируемый урожай)
- 5 – Интенсивная технология с применением системы точного земледелия

элементарного участка поля, но уже отличающегося размерами от первоначального (при обследовании) тем, что данный участок представляет собой квадрат со стороны равной ширине захвата разбрасывателя удобрений.

На одном из полей того же хозяйства был проведен краткосрочный опыт по изучению экономической отдачи от дифференцированного применения минеральных удобрений под яровую пшеницу с учетом пространственной неоднородности содержания фосфора и калия в почвах (Цирулев, 2008). Изучалось 5 вариантов: 1 – экстенсивная технология без применения удобрений (контроль), 2 – нормальная технология (удобрения в принятых в хозяйстве дозах), 3 – нормальная технология с применением GPS-навигации (для мониторинга и контроля за работой сельхозтехники в поле), 4 – интенсивная технология (расчетные дозы удобрений на планируемый урожай с учетом средневзвешенного содержания фосфора и калия в почве по данным традиционного агрохимического обследования) и 5 – интенсивная технология с применением системы дифференцированного внесения удобрений.

При варианте экстенсивной технологии был получен самый низкий урожай подопытной культуры – 1,35 т/га (рис. 3). Другие варианты дали прибавки урожайности относительно контроля в диапазоне 0,42-0,70 т/га. Технологии с GPS навигацией, системой точного земледелия показали наибольшие эффекты повышения урожайности в сравнении с аналогичными технологиями без указанных элементов. Преимущество технологий возделывания, модифицированных элементами точного земледелия, заключались в равномерном без огрехов и перекрытий внесении минеральных удобрений и средств химической защиты растений по площади экспериментального поля. В то же время на делянках интенсивной технологии без использования GPS навигацией мы отмечали явление полегания растений яровой пшеницы (рис. 4).



Рис. 4. Полегание растений яровой пшеницы на делянках интенсивной технологии возделывания (без применения GPS-навигатора) на участке перекрытий между смежными проходами при внесении азотных удобрений

Чистый доход был максимален в 5-ом варианте опыта с применением системы точного земледелия (3638 руб./га), превысив на 11% аналогичный показатель в 4-ом варианте (3264 руб./га) при расчете доз удобрений на планируемый урожай с учетом средневзвешенного содержания фосфора и калия в почве (рис. 3). Поскольку применение системы точного земледелия при использовании интенсивной технологии выявило участки поля с высокой обеспеченностью фосфором и калием, где вносить удобрения не требовалось, то это снизило затраты на минеральные удобрения на 9% (с 1552,1 до 1411 руб./га) по сравнению с вариантом, где вносились дозы удобрений, рассчитанные балансовым методом на планируемый урожай, исходя из анализа усредненного образца почвы с данного поля.

Таким образом, учет пространственной неоднородности почвенного плодородия позволил провести агрохимическое обследование полей с большей точностью, чем при традиционном подходе к агрохимическому обследованию, а дифференцированное внесение минеральных удобрений существенно повысило эффективность их использования. Следует также отметить, что внесение усредненных доз минеральных удобрений по обычной методике может вызывать либо их недостаток, либо перерасход по отдельным участкам поля. Важно отметить, что последнее обстоятельство является неблагоприятным фактором для сохранения окружающей среды.

*А. Цирулев является директором Фонда сельскохозяйственного обучения, находящегося в пос. Усть-Кинельский Самарской обл. РФ,
e-mail: fso-kinel@rambler.ru*

Автор признателен директору программы IPNI на Юге и Востоке России В. Носову за содействие в подготовке статьи.

Литература

- Якушев В.П. На пути к точному земледелию. СПб: Изд-во ПИЯФ РАН, 2002. 458 с.
- Афанасьев Р.А. Методика полевых опытов по дифференцированному применению удобрений в условиях точного земледелия. Проблемы агрохимии и экологии. № 1, 2010. С. 38-44.

Цирулев А.П., Боровкова А.С., Головоченко А.П. Новые подходы к проведению агрохимического обследования почв в системе точного земледелия. Изв. Самар. гос. с.-х. акад., 2008, в. 4. С. 62-65.

Боровкова А.С., Цирулев А.П. Эффективность дифференцированного внесения минеральных удобрений в условиях ле-

степени Самарской области. Изв. Самар. гос. с.-х. акад., 2008, в. 4. С. 56-61.

Цирулев А.П. Опыт эффективного применения ресурсосберегающих агротехнологий в условиях лесостепного Заволжья. Презентация на 10-й Юбилейной Российской агропромышленной выставке «Золотая осень». Москва, ВВЦ, 2008

Выделение зон для дифференцированного внесения удобрений способствует росту производства сахара в Северной Дакоте и Миннесоте

Д. Франзен, Г. Ричардс, Т. Дженсен

Дифференцированное внесение азотных удобрений по зонам, выделенным на спутниковых изображениях полей с учетом окраски листьев сахарной свеклы, повысило урожаи корнеплодов и выход сахара с гектара при выращивании сахарной свеклы в севообороте в восточной части Северной Дакоты и на западе Миннесоты. Развитие метода разделения полей на три зоны для дифференцированного внесения азотных удобрений основывается на научных исследованиях и практическом опыте по применению азотных удобрений при возделывании сахарной свеклы. Данные три зоны в упрощенном виде могут быть охарактеризованы, как зоны с низким, средним и высоким содержанием доступного азота; и дозы азота и других элементов питания для каждой зоны устанавливаются на основании результатов анализа почвы.

Управление азотным питанием важно для большинства сельскохозяйственных культур, но при выращивании сахарной свеклы оно имеет критическое значение для получения желаемого урожая корнеплодов и выхода сахара при их переработке. Достаточная обеспеченность растений азотом в начале периода вегетации необходима для полноценного развития листьев, максимальной фотосинтетической активности и последующего запасания фотосинтезированных сахаров в нормально развитых корнеплодах. При избытке доступного азота на поздних стадиях развития растений может быть получен высокий урожай корнеплодов. Но это также приводит к повышению в них содержания азотистых соединений и белков, что снижает технологическое качество корнеплодов и выход сахара на заводе.

Работы по исследованию взаимосвязи между содержанием доступных форм азота в почве и величиной урожайности, а также качеством корнеплодов сахарной свеклы продолжаются в течение почти 130 лет. Первые опубликованные работы были проведены в Бернбурге (Германия) в 1882 г., на научно-исследовательской опытной станции, где изучалось минеральное питание сахарной свеклы (Winner, 1993). Многочисленные последующие исследования расширили представления о том, как следует управлять азотным питанием растений для получения желаемого урожая и качества корнеплодов. Так, в работе Бауэра и Стивенсона (Bauer and Stevenson, 1972) показано, что сбор сахара с гектара достигает максимума при умеренной дозе азота (112 кг N/га), при дальнейшем

Таблица 1. Влияние различных доз азотных удобрений на урожай корнеплодов, сахаристость, коэффициент засорения и сбор сахара для трех сортов сахарной свеклы, выращиваемых в Оаксе, Северная Дакота

Доза N, кг N/га	Урожай корнеплодов, т/га	Сахаристость, %	Сбор сахара, т/га	Индекс качества*
0	48.8	17.0	8.3	429
56	50.0	16.7	8.3	482
112	54.0	16.4	8.9	534
224	55.1	15.3	8.4	750

Исходное содержание нитратов на глубине 0-60 см было 56 кг N/га

* Индекс качества = $[10(N) + 2.5(K) + 3.5(Na)] / C$, где

N – содержание аминного азота в корнеплодах, мг/кг

K – содержание калия в корнеплодах, мг/кг

Na – содержание натрия в корнеплодах, мг/кг

C – сахаристость, %

увеличении доз азота он снижается, хотя урожай корнеплодов при этом продолжает расти (табл. 1). При разработке рациональных систем применения азотных удобрений под сахарную свеклу, первым шагом является определение содержания доступных форм азота в почве после уборки предшествующей культуры и его учет при расчете дозы азотных удобрений, необходимой для получения планируемого урожая сахарной свеклы. Содержание доступных форм азота в почве может быть определено путем отбора почвенных образцов осенью после уборки предшествующей культуры и их анализа на содержание минерального азота, обычно нитратного (NO₃-N). Первоначальная глубина пробоотбора была 60 см, но последующие

исследования показали, что целесообразно отбирать образцы до глубины 100–150 см, учитывая глубину проникновения корней сахарной свеклы (Franzen et al., 1999a).

Отбор и анализ почвенных образцов можно использовать для определения необходимой дозы удобрений для каждой культуры в севообороте. Однако было замечено, что пространственная неоднородность внутри поля приводит к тому, что на одних участках сахарная свекла испытывает недостаток азота, на других – среднее обеспечена азотом, а на третьих – наблюдается его избыток. Анализ почвенных образцов, отобранных с каждого участка показал, что содержание нитратного азота в почве на этих участках соответствовало различным уровням – от относительно низкого до среднего и высокого. Смит (Smith, 1996, 1997) изучал эффективность различных доз азотных удобрений под сахарную свеклу в севообороте, рассчитанных с учетом содержания доступного азота в почве. Он установил, что если расчет дозы азотных удобрений для культуры, следующей в севообороте после сахарной свеклы, был основан на среднем для всего поля содержании нитратного азота, то при внесении азотных удобрений такие же зоны с различным содержанием азота в почве сохранялись в течение всего севооборота. Он предложил учитывать содержание азота в листьях сахарной свеклы при расчете дозы азотных удобрений под следующую культуру севооборота для того, чтобы не допустить внесения избытка азотных удобрений – в течение всего севооборота. Чем выше содержание азота в листьях, тем зеленее листья сахарной свеклы и больше азота содержится в растениях. Большая часть азота, присутствующего в листьях сахарной свеклы, возвращается в почву после уборки урожая корнеплодов, и используется последующей культурой (Franzen, 2004).

Таблица 2. Эффективность дифференцированного внесения удобрений по зонам в 2003–2007 гг. (база данных ACSC).

Метод внесения удобрений	Сбор сахара, кг/га	Выход сахара, кг/т корнеплодов	Доход, \$/га
Дифференцированный по зонам	8475	194	2524
Традиционный	8193	169	2435
Прибавка от дифференцированного внесения	282	25	89

Для выявления участков с высоким и низким содержанием азота в листьях свеклы в промышленных условиях использовали спутниковые изображения (Moraghan and Smith, 1996). Для формирования изображения использовали три полосы отражения, соответствующие низкому, среднему и высокому содержанию азота в листьях сахарной свеклы. Мораган и соавторами (Moraghan et al., 1997) разделили окраску листового покрова сахарной свеклы на изображениях, полученных между концом августа и началом октября, на желтый, желто-зеленый и зеленый цвета. Впоследствии



Рис 1. Использование дифференцированного внесения удобрений по зонам в период с 2002 г. по 2009 г. в восточных районах Северной Дакоты и западных районах Миннесоты (American Crystal Sugar Company 2007, и личные контакты авторов, 2010).

Мораган указывал, что учет азота, поступающего в почву при минерализации ботвы, при расчете дозы азотных удобрений для следующей культуры севооборота в «зеленых» зонах имел практическое значение (Sims et al., 2002).

Franzen et al. (1999b) использовали нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetative Index, NDVI), определенный по спутниковым снимкам с Landsat 5, для выделения зон, где дозы азотных удобрений для пшеницы, посеянной после сахарной свеклы в севообороте, рассчитывали с учетом поступления азота из свекольной ботвы. Показатель NDVI равен отношению разности коэффициентов отражения в инфракрасном и красном диапазонах к их сумме. Величина NDVI зависит от биомассы, типа культуры, степени поражения болезнями и повреждения вредителями, и обеспеченности растений элементами питания. В результате урожайность пшеницы в «желтых» зонах, где вносили полную дозу азотных удобрений, была сравнима с урожайностью в «зеленых» зонах, где доза азота была скорректирована с учетом содержания азота в листьях свеклы. Точный расчет доз азотных удобрений под каждую культуру севооборота с учетом содержания доступных форм азота в почве, дозы азотных удобрений под предшественник, и поступления азота с ботвой сахарной свеклы в зонах, определенных по спутниковым изображениям, привел к улучшению технологического качества сахарной свеклы. В 2002 г. в долине реки Ред Ривер (Red River) на площади примерно 40 тыс га, что составляет 20% площади под сахарной свеклой в этом регионе, применение азотных удобрений под культуры, возделываемые сразу после сахарной свеклы, осуществлялось на основе этого исследования. Это позволило снизить затраты на удобрения примерно на 50 долларов с гектара. Кроме того, снизилась частота полегания зерновых культур, а также содержание минерального азота в почве на полях, засеваемых сахарной свеклой через 2–3 года.

Использование зон с различной окраской листьев сахарной свеклы, выделенных по спутнико-



Поле сахарной свеклы, общий вид (слева) и спутниковое изображение окраски листьев (справа) (по данным ACSC).

вым изображениям, продолжает расширяться со времени их первого применения в 2002 г. (рис 1). По оценкам, в 2009 г. описанное выше дифференцированное внесение удобрений по зонам применялось примерно на 43% посевных площадей в Северной Дакоте и западных районах Миннесоты, на которых сахарная свекла выращивалась по контракту с American Crystal Sugar Company (ACSC). Дифференцированное внесение удобрений под сахарную свеклу на фермерских полях обычно осуществляют дистрибьютеры минеральных удобрений, используя рекомендации по дифференцированному внесению удобрений, основанные на технологии выделения зон по обеспеченности элементами питания растений. Фермеры и агрономы ACSC, использующие данный метод управления азотным питанием, установили, что в дальнейшем зоны могут выделяться не только с помощью спутниковых изображений листьев сахарной свеклы, но и цифровых топографических карт и карт урожайности всех культур севооборота. Многие поля разделены на зоны для дифференцированного внесения удобрений, определенные на основании трех источников данных, указанных выше (ACSC, 2008). Важно отметить, что на всех полях, засеянных по контракту с ACSC, используются рекомендации по применению удобрений, основанные на отборе и анализе почвенных образцов. Так, в 2009 году почвенные образцы отбирались по зонам на 43% полей, а с остальных полей отбирали смешанные почвенные образцы. Преимуществом системы дифференцированного внесения удобрений по зонам является увеличение сбора сахара с гектара, выхода сахара на тонну корнеплодов и, следовательно, дохода сельхозпроизводителя с гектара (табл. 2) (ACSC, 2008).

Технология дифференцированного внесения удобрений и выделения зон по окраске листьев сахарной свеклы была успешно использована в восточной части Северной Дакоты и западных районах Миннесоты. Ожидается, что использование дифференцированного внесения удобрений сельхозпроизводителями, выращивающими сахарную свеклу по контракту с ACSC, будет продолжать расширяться. Возможно и дальнейшее совершенствование процесса выделения зон (включая увеличение их числа с трех до пяти) для более эффективного применения удобрений на участках, требующих промежуточных доз азотных удобрений. Это позволит увеличить производство сахара и повысить доходы производителей сахарной

свеклы.

Технология разделения полей на зоны также может использоваться для более точного определения нормы высева семян сахарной свеклы. Например, высокие урожаи всех культур севооборота часто получают в зонах с повышенным содержанием доступного азота в почве. Таким образом, увеличивая плотность посевов сахарной свеклы в этих зонах, можно повысить урожай сахарной свеклы и выход сахара с единицы посевной площади. И наоборот, снижая плотность посевов в зонах стабильно низких урожаев, можно сэкономить на стоимости семян без снижения ожидаемого урожая. Эта технология дифференцированного посева является частью проводимых в настоящее время исследований (ACSC, 2010).

Д-р Франзен - с.-х. консультант Университета Штата Северная Дакота (North Dakota State University (г. Фазро, США).

Г. Ричардс - менеджер по развитию стратегии сельскохозяйственных предприятий, American Crystal Sugar Company, (г. Морхед, штат Миннесота, США).

Д-р Дженсен - региональный директор IPNI на севере Великих равнин, (г. Саскатун, провинция Саскачеван, Канада); e-mail: tjensen@ipni.net

Перевод с английского под редакцией С.Е. Ивановой, В.В. Носова.

Литература

- American Crystal Sugar Company, Moorehead, MN. 2007. Ag Notes - Issue #500, 26-July-2007. <http://www.crystalsugar.com/agronomy/agnotes/files.500.asp>*
- American Crystal Sugar Company, Moorehead, MN. 2008. Ag Notes - Issue #513, 23-July-2008. <http://www.crystalsugar.com/agronomy/agnotes/files.513.asp>*
- American Crystal Sugar Company, Moorehead, MN. 2010. Personal communication 10-May-2010.*
- Bauer, C.S. and C.K. Stevenson. 1972. North Dakota State Univ. Ext. Ser. 2: 49-56.*
- Franzen, D.W., A.J. Landgraaf, J.F. Giles, N.R. Cattanach, and L.J. Reitmeier. 1999a. North Dakota State Univ. Extension Ser. 30: 117-126.*
- Franzen, D.W., L. Reitmeier, J.F. Giles, and A.C. Cattanach. 1999b. Aerial photography and satellite imagery to detect deep soil N levels in potato and sugarbeet. p. 281-290. In P.C. Robert et al. (ed.). Precision Agriculture, Proceedings of the 4th International Conference, 19-22 July, 1998, St. Paul, MN.*
- Franzen, D.W. 2004. Journal of Sugar Beet Research 41: 47-60.*
- Moraghan, J.T. and L.J. Smith 1996. Agron. J. 88:521-526.*
- Moraghan, J.T., K. Horsager, L. Smith, A. Sims, and J. Holland. 1997. 1996 Sugarbeet Res. and Ext. Rep., North Dakota State Univ. Ext. Ser. 27:121-133.*
- Sims, A.L., J.T. Moraghan, and L.J. Smith. 2002. Spring Prec. Agric. 3:283-295.*
- Smith, L.J. 1996. North Dakota State Univ. Ext. Ser. 26: 117-119.*
- Smith, L.J. 1997. North Dakota State Univ. Ext. Ser. 27: 88-91.*
- Winner, C. 1993. History of the crop. p. 1-35. In D.A. Cooke and R.K. Scott (ed.), The Sugarbeet Crop-. Chapman & Hall, NY.*

Временная изменчивость отзывчивости сельскохозяйственных культур на удобрения

Р. Муллен, Г. Ла-Бардж, К. Диедрик

Отзывчивость сельскохозяйственных культур на удобрения зависит от погодных условий конкретного года. Потребность сельскохозяйственных культур в элементах минерального питания зависит от погодных условий, и их влияния на процессы поступления элементов питания и их потери из почвы. Для того, чтобы повысить эффективность использования элементов питания из удобрений необходимо разработать методы, позволяющие учитывать влияние погодных условий года на данные процессы.



Отзывчивость кукурузы на внесение азотных удобрений на Северо-западной научно-исследовательской станции около Кастара (штат Огайо), в июле 2008 г. Делянка слева получила 269 кг N/га, на делянку справа азотные удобрения не вносились.

Разработка системы применения удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур представляет собой трудную задачу, если учитывать все факторы, влияющие на поступление питательных элементов из почвы и потребность в них растений. Большинство агрономов легко определяют пространственное распределение этих факторов, но учет их временной изменчивости сложен. Цель настоящей статьи – дать некоторое представление о временной изменчивости поступления питательных элементов из почвы и потребности в них растений.

Чем определяется потребность растений в таких подвижных питательных элементах в почве как азот? Факторы, контролирующие отзывчивость растений на азот, могут быть разделены на три категории: 1) факторы, определяющие, какая часть азота в почве будет доступной для растений в результате минерализации, 2) факторы, определяющие, какая часть азота будет потеряна при вымывании и денитрификации и 3) факторы, определяющие, величину урожайности. Хотя это легко идентифицируемые факторы, их трудно количественно оценить или точно предсказать.

Скорость минерализации определяется составом органического вещества почвы и условиями окружающей среды в течение вегетационного сезона. Вероятно, что в теплых и влажных условиях в почве будет минерализовано больше азота, чем в холодных

Сокращения: N – азот, K – калий, Mn – марганец

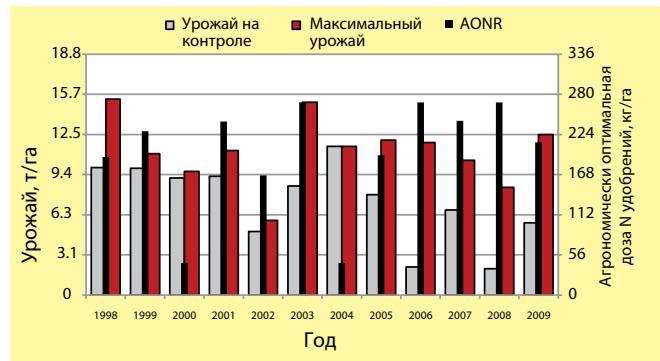


Рис. 1. Максимальный и контрольный урожаи зерна на Северо-западной исследовательской станции около Хойтвила, Огайо, и соответствующие агрономически оптимальные дозы азотного удобрения (AONR), необходимые для получения этих урожаев кукурузы, посеянной после сои, 1998–2009 г.г.

и сухих. Количество азота, потерянное вследствие денитрификации и/или вымывания из почвы зависит от количества и распределения осадков, степени дренированности почвы, температуры воздуха и количества минерализуемого углерода. Достижимый уровень урожайности зависит от всхожести семян, конкуренции растений и наличия или отсутствия стресса в течение всего вегетационного периода. Какой фактор является постоянным и для процессов поступления элементов питания из почвы, и для потребности в них растений? Этот фактор - изменчивость погодных условий.

С 1998 г. в Университете штата Огайо проводятся исследования по оценке отзывчивости кукурузы на внесение карбамидно-аммиачной смеси (КАС) в междурядья при выращивании в севообороте кукуруза-соя. Изучается урожайность кукурузы на зерно, при внесении пяти доз азотных удобрений: 45, 67, 134, 202 и 224 кг/га до 2006 г. и 0, 67, 134, 202 и 224 кг/га после 2006 г. Каждый год отзывчивость кукурузы на азот моделируется с использованием уравнения нелинейной регрессии, которое позволяет определить агрономически оптимальную дозу азотного удобрения (Agronomic optimum N rate, AONR). На кривой отзывчивости агрономически оптимальная доза азотных удобрений соответствует дозе азотного удобрения в точке перегиба и выхода кривой на плато, и эквивалентна наименьшей дозе удобрений, обеспечивающей максимальную урожайность.



Кейт Диедрик проводит некорневую подкормку марганцем на Северо-западной научно-исследовательской станции в Огайо.

Как показано на рисунке 1, максимально достижимый урожай зависит от условий конкретного года, также как и количество азотных удобрений, необходимое для его получения. Временные флуктуации приводят к тому, что на одном и том же опытном участке в одном и том же севообороте оптимальные дозы азотного удобрения различаются по годам.

Традиционные рекомендации по использованию азотных удобрений ориентируются на величину потенциальной урожайности, при этом для получения больших урожаев необходимо внесение более высоких доз азотных удобрений. Мы обнаружили, что достигаемые высокие уровни урожайности не обязательно связаны с большей потребностью в азоте (Sawyer et al., 2006).

Почему часто не находят прямой зависимости между величиной урожайности и оптимальными дозами азотных удобрений на типичных полях кукурузного пояса США? Благодаря минерализации органического вещества почва способна снабжать растения большим количеством азота, что исключает необходимость в дополнительном внесении азотных удобрений. Кроме того, если в данных условиях выращивания потенциальные потери азота незначительны, то доза азотных удобрений может быть снижена. Таким образом, почва сама сможет обеспечить достаточное количество азота для удовлетворения большей части потребности растений в азоте, и по-

тери азота, в данном случае, маловероятны. Потребность растений в азоте также может снижаться, если урожайность кукурузы уже упала из-за какого-то стресса (наиболее вероятно связанного с погодными условиями).

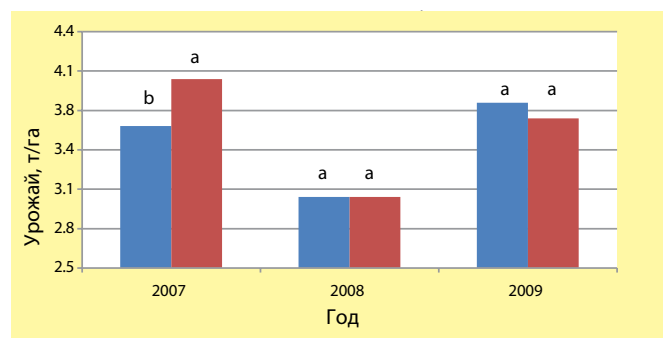


Рис. 2. Отзывчивость сои на некорневое внесение марганца на Северо-западной научно-исследовательской станции около Хойтвила (штат Огайо), в течение 2007–2009 годов. При разных буквах над столбцами различия достоверны при уровне значимости 0,05.

Используя данные за 2004 г. и 2005 г. (рис. 1) для иллюстрации концепции временной изменчивости потребности в азотном удобрении, отметим, что достижимый урожай почти не меняется (~12 т/га), но дозы азотного удобрения, необходимые для получения этого урожая, существенно различаются. Различаются, главным образом, величины урожая, полученного при низкой дозе азотного удобрения. В контрольном варианте (45 кг N/га в качестве стартового удобрения) получен урожай в 12 и 7.8 т/га в 2004 г. и 2005 г., соответственно. Едва ли пониженная потребность в азотных удобрениях в 2004 г. объяснялась снижением потенциальных потерь, потому что количество осадков, выпавших между 1 мая и 1 августа, было на 13 см больше, чем в 2005 г. Таким об-

разом, количество азота, минерализованного в 2004 г. было, по-видимому, гораздо большим, чем в 2005 г.

Хотя вопросы о рациональном применении азотных удобрений являются хорошей основой для дискуссии о временной изменчивости, интенсивность процесса высвобождения элементов питания из труднодоступных форм также подвержена временной изменчивости. Поэтому еще одной темой для обсуждения временных трендов в поступлении питательных элементов из почвы и потребности в них растений, является питание растений микроэлементами.

Возьмем в качестве примера потребление марганца (Mn) соей. Симптомы дефицита марганца можно наблюдать на многих полях в северном и центральном Огайо, но не каждый год. Иногда они не наблюдаются в течение большей части вегетационного периода, а затем внезапно проявляются на поле отдельными очагами. Исследования в Университете штата Огайо показали, что отзывчивость сои на некорневое внесение марганца может быть агрономически и экономически значимой, но она зависит от условий года выращивания (рис. 2).

Когда почвы высыхают, доступный марганец (Mn^{2+}) окисляется с образованием нерастворимого оксида марганца. Таким образом, марганец становится недоступным для растений. Некорневое внесение марганца в этих условиях может быть агрономически и экономически целесообразно (сезон 2007 г. на рис. 2). Сильная засуха, наблюдаемая в 2008 г., вероятно, снизила потребность растений в марганце в результате снижения потенциала урожайности. Отсутствие засушливых условий в 2009 г. способствовало высвобождению достаточного количества доступных для растений форм марганца из почвы, в результате чего отзывчивость на некорневое внесение марганцевых удобрений не наблюдалась.

Доступность других элементов питания растений из почвы также подвержена временной изменчивости. Так, недостаток калия наблюдается чаще всего в засушливые годы в восточной части кукурузного пояса, особенно на почвах, сформировавшихся на

глинистых породах с минералами со строением пакетов 2 : 1, которые могут фиксировать калий при высыхании почвы. В годы с чередованием периодов увлажнения и высыхания, напротив, отзывчивость растений на внесение калийных удобрений может быть меньше, и она гораздо менее вероятна в условиях, когда из труднодоступных форм высвобождается достаточное количество калия.

Временная изменчивость потребности растений в питательных элементах из минеральных удобрений зависит от погодных условий конкретного года и их влияния на поступление питательных элементов из почвы. Эти временные тренды объясняют, почему необходимо разработать методы для одновременного мониторинга потребности растений в питательных элементах и их поступления из почвы. Вероятно, что анализ растительных тканей, отбор почвенных проб в течение вегетационного периода и использование новых технологий (дистанционное зондирование) будут играть гораздо большую роль в принятии обоснованных решений для управления питанием растений.

Д-р Муллен – адъюнкт-профессор, специалист по плодородию почв, OARDC-SENr, Вустер, Огайо; e-mail: mullen.91@osu.edu.

*Г. Ла-Бардж – преподаватель заочных курсов, округ Фултон, заочные курсы университета штата Огайо
К. Диедрик – научный сотрудник, занимается проблемами почвенного плодородия, Школа окружающей среды и природных ресурсов, университет штата Огайо.*

Перевод с английского под редакцией С.Е. Ивановой, В.В. Носова.

Литература

- Sawyer, J., E. Nafziger, G. Randall, L. Bundy, G. Rehm, and B. Joern. 2006. *Concepts and rationale for regional N rate guidelines for corn. Iowa State University Extension PM 2015, Ames, IA.*

Начало работы с точным земледелием

Э. Уинстед и Дж. Фултон

Технологии точного земледелия, которые когда-то считались подходящими только для крупных сельхозпроизводителей, ориентированных на интенсивное земледелие, теперь легко доступны и приемлемы для широкого спектра сельхозопераций. В США быстро растет интерес к освоению и внедрению технологий точного земледелия, включая высокоточные системы GPS [реализующие режим кинематики реального времени (real-time kinematic, RTK)], посев/применение средств химизации в соответствии с принципами точного земледелия, а также решения по информационному управлению.

Технологии точного земледелия не всегда были экономически выгодными для мелких и средних фермерских хозяйств. Однако со снижением стоимости оборудования для точного земледелия

теперь почти все сельхозпроизводители для оптимизации себестоимости продукции могут использовать такие технологии как, например, системы параллельного вождения, картирования урожайности и диффе-

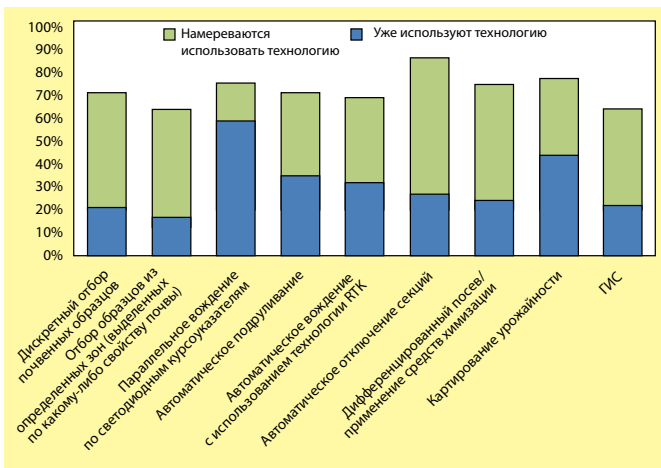


Рис. 1. Результаты опроса о внедрении технологий точного земледелия в Алабаме за 2009-2010 гг.

ренцированного внесения удобрений. Меняющиеся цены на средства химизации и продукцию растениеводства значительно увеличивают риск ошибочных управленческих решений. Таким образом, даже мелкие хозяйства могут получать выгоду от использования технологий, повышающих эффективность производства.

В штате Алабама (США) в 2009 г. был проведен опрос фермеров для оценки степени внедрения и планируемого внедрения различных технологий точного земледелия (рис. 1). По результатам опроса, 58% респондентов используют на своих фермах технологии параллельного вождения по светодиодным курсоуказателям, 34% – технологии автоматического подруливания и 31% – автоматическое вождение с использованием технологии RTK. При этом 86% респондентов или уже применяют, или намереваются использовать технологию автоматического отключения секций. Внедрение систем картирования урожайности оценивали по трем категориям: используют в настоящее время (43%), намереваются использовать в будущем (33%) и не намереваются использовать (24%). Результаты опроса показали, что значительная часть сельхозпроизводителей планирует осваивать данные системы. В ближайшие два года 51% опрошенных планируют внедрить у себя технологию дифференцированного посева/применения средств химизации, тогда как 24% – уже применяют эту технологию.

Одной из технологий, быстро осваиваемой фермерами Алабамы и США в целом, является технология автоматического отключения секций (automatic section control, ASC). Эта система первоначально применялась на опрыскивателях, но в настоящее время в практике точного земледелия она также используется на сеялках, разбрасывателях удобрений и другом оборудовании. Данная технология позволяет оператору отключать отдельные секции оборудования на уже обработанных участках или там, где обрабатывать не требуется, например, в экологически чувствительных зонах – на задернованных водостоках. Недавнее исследование, проведенное в Обернском универ-

ситете, показало, что применение технологии ASC может сократить расходование семян/средств химизации на 1–10% за один проход по полю; подобная экономия происходит в результате сокращения перекрытий на поворотных полосах и клиновидных участках полей. Выгода от данной технологии состоит в том, что фермеры экономят от 3.7 до 61.7 долл./га в год в зависимости от культуры, агротехники, формы и размера полей. В вышеуказанном исследовании экономия семян/средств химизации составила в среднем 4.3% за операцию, проведенную с использованием только системы ASC, со сроком окупаемости менее 2-х лет для большей части технологических операций (с наибольшей отдачей на опрыскивателях, сеялках и подкормщиках – растениепитателях при подкормке азотом). Однако при совместном использовании системы ASC и системы параллельного вождения можно получить дополнительную экономию, поскольку это еще больше сокращает перекрытия, особенно между смежными проходами техники, и, соответственно, расходование семян/средств химизации (Troesch et al., 2010). Данным исследователем было показано, что с системой параллельного вождения можно сэкономить в среднем еще 12% семян/средств химизации при общей экономии в результате совместного использования систем ASC и параллельного вождения от 15 до 30%.

Опрос, проведенный в Алабаме, показал, что в будущем ожидается широкое внедрение сельхозпроизводителями систем автоматического вождения: 37% респондентов намериваются внедрить эту технологию в ближайшие 2 года, а сейчас ею



Использование системы картирования урожайности с приемником GPS на зерноуборочном комбайне для составления картограммы урожайности для поля. Картограммы урожайности являются отчетной сводкой для сельхозпроизводителя, поскольку дают информацию о влиянии агротехнологий на производство сельскохозяйственных культур.



Опрыскиватель, оборудованный системой автоматического отключения секций, которая при движении опрыскивателя по полю отключает/включает секции штанги или отдельные форсунки. На опрыскивателе применяется система параллельного вождения для минимизации перекрытий и пропусков.



Посев с использованием системы автоматического вождения

пользуется 31% опрошенных. В качестве основного аргумента в пользу использования данной технологии фермеры указали, что во время вождения требуется меньшая концентрация внимания (что, в свою очередь, снижает утомляемость и повышает способность сосредоточиться на других операциях). Хотя системы картирования урожайности с использованием GPS-навигации мало используются в Алабаме, фермеры начинают быстро осознавать преимущества картограмм урожайности не только при оценке общепринятых и новых агротехнических приемов, но также и при использовании в качестве исходных данных при разработке агротехнических приемов, специфичных для конкретных условий (т.е. выделение участков с разными уровнями содержания элементов питания в почве/требующих разных норм высева семян и/или внесения пестицидов, проведение дифференцированного посева, создание карт-заданий на внесение удобрений и т.д.). Опрос также показал, что фермеры рассматривают дискретный отбор

Таблица 1. Рекомендации по началу работы с точным земледелием

- Четко определите цели для внедрения технологий и приемов точного земледелия.
- Подбирайте технологии, которые могут использоваться для нескольких операций.
- Определитесь с устройствами, которые могут легко переставляться с одной сельскохозяйственной машины на другую.
- Подбирайте технологии, которые совместимы как с используемым сейчас, так и с новым сельскохозяйственным оборудованием.
- Убедитесь, что оборудование для точного земледелия можно легко и недорого модернизировать.
- Определитесь с уровнем точности и стабильностью GPS-позиционирования, требуемыми для конкретных операций.
- Убедитесь, что записываемые данные могут легко переноситься на другие носители.
- Спрогнозируйте будущие требования к сельскохозяйственным операциям и возможность применения в будущем технологий точного земледелия, которые используются в настоящее время.
- Оцените время, необходимое для освоения технологий точного земледелия, и определитесь со сроками их внедрения.
- Уточните по поводу практического обучения, техподдержки и обслуживания для новых продуктов, в которых вы заинтересованы.



Пример дисплея для точного земледелия, установленного в кабине и информирующего оператора в режиме реального времени о рабочих параметрах и возможности получения различных данных.

почвенных образцов и отбор образцов из определенных зон, выделенных по какому-либо свойству почвы, а также технологию дифференцированного посева/применения средств химизации, в качестве технологий, имеющих значительный потенциал для получения прибавок урожая и снижения себестоимости.

Размышления перед началом работы

В условиях возрастающего интереса к технологиям точного земледелия и планируемого освоения производители чаще всего задают вопрос: «Как начать использовать технологии точного земледелия?» Ниже приведены рекомендации для сертифицированных специалистов по растениеводству, консультантов, в том числе из университетов, и производителей оборудования по обучению и оказанию помощи сельхозпроизводителям в выборе наиболее оптимальных технологий точного земледелия для выполняемых операций. Эти рекомендации были разработаны на основе результатов опроса фермеров и личных контактов автора с дилерами по оборудованию для точного земледелия и фермерами, использующими технологии точного земледелия как на протяжении длительного времени, так и недавно.

Прежде всего, при внедрении технологий и/или методов точного земледелия должна быть ясна цель их использования. Поскольку точное земледелие позволяет фермерам решать задачи, специфичные для конкретных условий, мотивация фермеров к применению данных технологий также бывает разной. Является ли целью более эффективное использование семян и средств химизации? Или более подробное документирование выполняемых в хозяйстве операций? Необходимы изменения в агротехнологиях, и для этого потребовались дополнительные данные по хозяйству? Ошибка при постановке четкой цели может дорого обойтись и

привести к обратным результатам.

Фермеры, использующие технологии точного земледелия, постоянно подчеркивают важность выбора продуктов, пригодных для проведения нескольких технологических операций. Использование таких компонентов как мониторы, приемники спутниковых сигналов, антенны и контроллеры для выполнения самых разных задач и на разном оборудовании может снизить затраты на технологии точного земледелия. Например, для параллельного вождения покупается дисплей. Его можно переустановить на комбайн для картирования урожайности, а затем – снова на трактор и использовать для дифференцированного внесения удобрений.

Важным принципом совместимости является легкость переустановки устройств с одного вида сельскохозяйственной техники на другой. Если необходимо переустанавливать систему параллельного вождения с разбрасывателя удобрений на разбрызгиватель, важно знать, потребуются ли дополнительные специальные провода или кабели для второго агрегата. Следует также учитывать совместимость оборудования с новой сельхозтехникой в будущем. Оборудование для точного земледелия может быть специально изготовлено для определенной сельхозтехники. Если в будущем планируется ее модернизация или замена, оборудование для точного земледелия должно быть пригодным для установки и на новой технике. Если оборудование для точного земледелия потребует модернизации, следует принимать во внимание простоту и стоимость ее проведения. Например, многие системы параллельного вождения начального уровня могут быть модернизированы посредством перехода от WAAS-коррекции сигналов GPS (точность до метра) на навигацию по платной подписке (дециметрового уровня точности) или RTK-коррекцию (сантиметрового уровня точности). Можно добавить и такие дополнительные опции, как автоматическое отключение секций или автоматическое вождение.

Основной вопрос, который новые пользователи технологий точного земледелия должны изучить, – это уровень точности системы GPS и стабильность позиционирования, требуемые для определенной операции. Для каждой конкретной сельскохозяйственной операции подходит определенный метод коррекции сигналов GPS. Например, полосная обработка почвы и посев арахиса требуют сантиметрового уровня точности и ежегодной стабильности позиционирования для обеспечения посева и уборки точно по полосам каждый год. Однако для работы систем картирования урожайности на зерноуборочном комбайне достаточно точна точность до метра.

Не все, но большая часть систем точного земледелия, предлагаемых в настоящее время на рынке, способна записывать и загружать данные на компьютер. Если желательна данная опция, необходимо учитывать ряд моментов. Формат записи и экспорта данных зависит от оборудования, используемого для точного земледелия, поэтому

важно убедиться в том, что данные могут быть загружены в формате, приемлемом для пользователя. Например, если для управления данными не используется сельскохозяйственная географическая информационная система (AgGIS), то для просмотра полученных данных пользователем предпочтительна система точного земледелия, способная экспортировать данные в формате pdf или rtf.

Очень важно учитывать как сегодняшние, так и будущие требования к сельскохозяйственным операциям, и возможную значимость технологий точного земледелия. Разработка долгосрочных планов по внедрению технологий точного земледелия может помочь при принятии решений о покупке оборудования. Сохранение полученных данных обязательно, даже если в настоящее время они не используются для управления агротехнологиями в хозяйстве. Данные о высотах, полученные с помощью системы RTK, и данные по урожайности являются примерами таких данных, которые могут собираться и использоваться в дальнейшем для выделения участков с разными уровнями содержания элементов питания в почве/требующих разных норм высева семян и/или внесения пестицидов, а также создания карт-заданий для дифференцированного посева/внесения средств химизации.

И наконец, потенциальные пользователи технологий точного земледелия должны осознавать, сколько времени потребуется на освоение подобных систем, и определиться со сроками внедрения. Для обучения технологиям точного земледелия требуется определенное время, а установка оборудования часто занимает больше времени, чем изначально предполагается. Кроме того, даже максимально ориентированные на пользователя устройства нуждаются в периоде для наладки. Сроки освоения и внедрения могут охватывать несколько сезонов, чтобы не только проработать все вопросы и освоить новые устройства, но и полностью наладить систему для получения желаемых результатов. Во многих случаях успешное освоение технологий точного земледелия в большей степени является прогрессирующим, а не сиюминутным процессом, дающим немедленный результат. Учитывая временные затраты на обучение при освоении систем точного земледелия, при выборе технологий важно выяснить механизмы практического обучения, техподдержки и обслуживания, предлагаемые для новых продуктов. Наиболее опытные пользователи технологий точного земледелия признают, что обслуживание соответствующего оборудования является одним из наиболее важных факторов, который должен учитываться при покупке новых устройств.

В целом, не существует правильных или неправильных подходов к освоению и внедрению технологий точного земледелия. Потенциальные пользователи должны быть заинтересованы в проведении производственных опытов, чтобы оценить, какие методы точного земледелия обес-

печивают максимальную отдачу при проводимых ими агрооперациях. Хотя технологии и методы точного земледелия с первого взгляда могут показаться трудновыполнимыми, важно обратить внимание новичков на то, что продвигаться вперед следует медленно и последовательно. Системы параллельного вождения и системы ASC приносят фермерам быструю и ощутимую выгоду, тогда как другие технологии и специфичные для конкретных условий агротехнологические подходы могут обеспечивать выгоды, но должны оцениваться за несколько лет использования. На практике может понадобиться время, чтобы в полной мере снизить себестоимость или увеличить доход при использовании данных технологий, особенно технологий применения удобрений, основанных на принципах точного земледелия.

Подробнее о технологиях точного земледелия см. на сайте по точному земледелию в Алабаме: www.AlabamaPrecisionAgOnline.com.

Д-р Уинстед (winstat@auburn.edu) – региональный консультант по точному земледелию Кооперативной консультационной службы Алабамы Научно-исследовательского и консультационного центра Долины Теннесси (г. Белле Мина, штат Алабама, США).

Д-р Фултон – адъюнкт-профессор/консультант кафедры проектирования биологических систем Обернского университета (штат Алабама, США).

Перевод с английского под редакцией В.В. Носова, С.Е. Ивановой.

Литература

Troesch, A., D.K. Mullenix, J.P. Fulton, A.T. Winstead, and S.H. Norwood. 2010 Economic analysis of auto-swath control for Alabama crop production. In Proceedings of the 10th International Conference on Precision Agriculture, Denver, CO, July, 23-25

Успехи использования наземных сенсоров в сельском хозяйстве Аргентины

Р. Мелхиори

В результате интегрированного взаимодействия между разными организациями и компаниями Аргентины исследования по использованию наземных сенсоров для повышения эффективности использования азота из удобрений привели к важным достижениям. Дифференцированная подкормка азотом, основанная на результатах наземного зондирования растений, повышает эффективность использования азота из удобрений в устойчивых высокоурожайных системах земледелия.

Несмотря на большое количество информации и данных по управлению азотным питанием зерновых культур, средний коэффициент использования азота из удобрений данными культурами в мире оценивается лишь на уровне 0.33 (Raun and Johnson, 1999). Постоянное проведение теоретических и экспериментальных исследований и разработка новых технологий, например, связанных с точным земледелием, вызваны необходимостью повышения эффективности использования азота из удобрений.

В 2002 г. INTA (Национальный институт агротехнологий), AAPRESID (Ассоциация фермеров, применяющих нулевые технологии) и Profertil (компания, производящая удобрения) запустили совместный проект по поддержке разработок и распространению устойчивых технологий управления азотным питанием в Аргентине с особым акцентом на повышение эффективности использования азота из удобрений с помощью методов наземного зондирования.

Как было показано рядом авторов, используя наземные сенсоры, можно выявить недостаток азота у растений. Однако стадия развития растений, состоя-

ние растительного покрова, накопленная биомасса, обеспеченность растений элементами питания и другие факторы оказывают влияние на спектральный отклик растений и, следовательно, на возможность выявления недостатка азота. Подходы, основанные на наземном зондировании, требуют наличия технологий для выявления недостатка азота и разработки диагностических методов и рекомендаций по



Автор проводит измерения показателя NDVI на поле кукурузы в Паране (провинция Энтре-Риос).

Сокращения: N = азот.

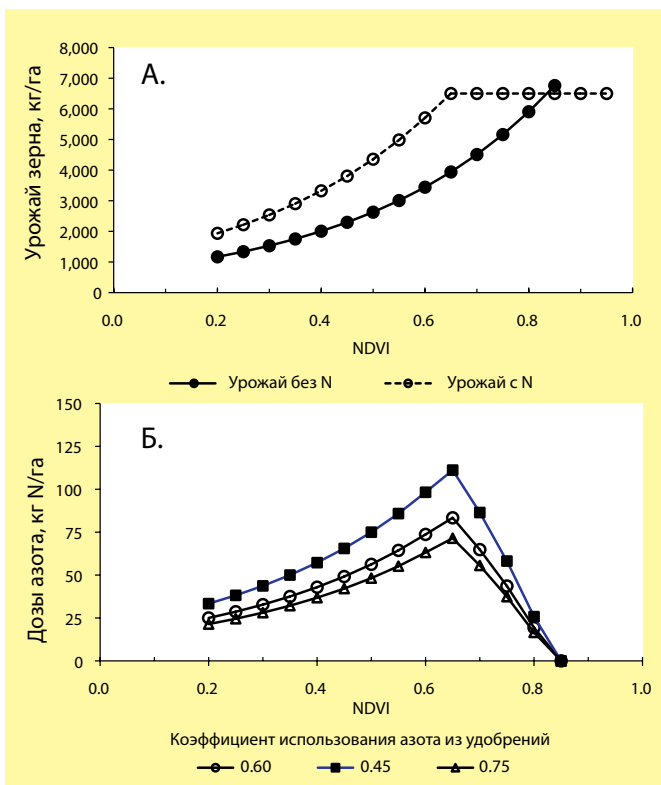


Рис. 1. А) Теоретическая модель для разработки рекомендаций, использующая функциональную зависимость между величиной урожайности и индексом NDVI (урожай без N – урожай без подкормки азотом, урожай с N – прогнозируемый урожай при подкормке азотом). Б) Дозы азота, рассчитанные для представленного выше примера (А) с помощью калькулятора доз азота по показаниям сенсора (sensor based nitrogen rate calculator, SBNRC) при трех значениях коэффициента использования азота из удобрений (0.45, 0.60 и 0.75).

его устранению. Необходимо также знать, насколько и под действием каких факторов снижается потенциальная урожайность, и как условия окружающей среды могут повлиять на отзывчивость растений на подкормки азотом.

Объединенные исследования, проводимые в настоящее время в Аргентине, предполагают: 1) разработку и проверку зональных методик диагностики азотного питания и рекомендаций по применению азотных удобрений на основе данных наземного зондирования, и 2) определение оптимальных сроков проведения азотных подкормок при выявлении недостатка азота у растений для повышения эффективности использования азота из удобрений. Результаты этих исследований были опубликованы Р. Мелхиори с соавт. (Melchiori et al., 2004; 2005; 2006; 2007; 2008a). Настоящая статья обобщает результаты, полученные в ходе выполнения указанных проектов.

Разработка зональной корректировки алгоритмов, используемых при наземном зондировании

В основу проекта в Аргентине легла модель, разработанная Государственным университетом Оклахомы (OSU) в США и описанная У.Р. Руаном с соавт. (Raun et al., 2005). В нескольких словах, данный метод

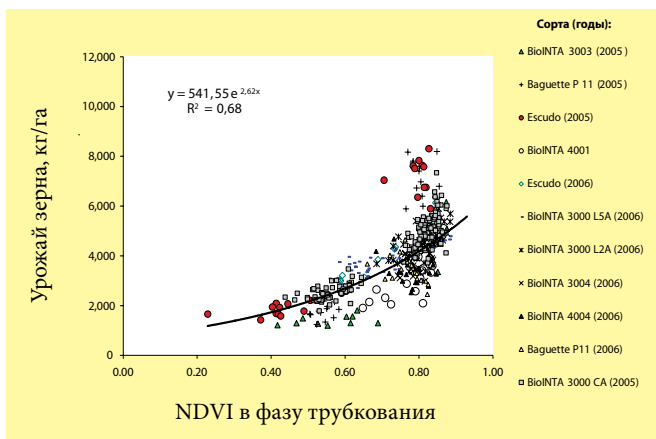


Рис. 2. Зависимость между величиной урожайности пшеницы и индексом NDVI, определенным с помощью оптического сенсора GreenSeeker в начале набухания колосьев. Данные включают результаты нескольких опытов по возделыванию разных сортов пшеницы при разных режимах увлажнения и уровнях азотного питания.

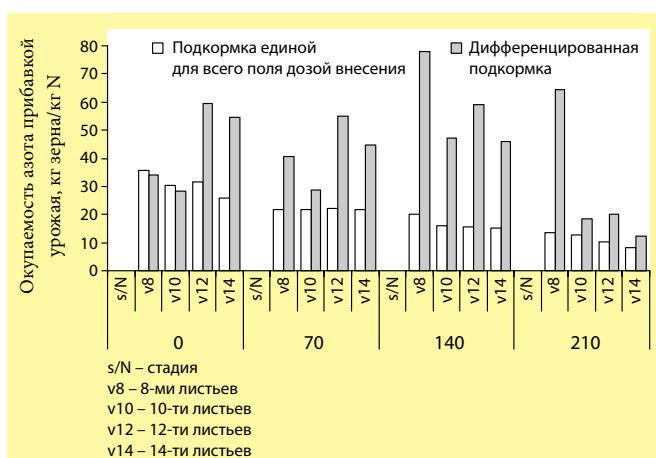


Рис. 3. Окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая кукурузы (в среднем за 2002-2008 гг.). При посеве вносились следующие дозы азота (кг N/га): 0, 70, 140 и 210. Азотная подкормка проводилась между стадиями 8-ми и 14-ти листьев с применением двух подходов: равномерная доза внесения азота и дифференцированная подкормка, основанная на использовании сенсоров.

позволяет получать уравнения для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в виде функции от нормализованного дифференциального вегетационного индекса (normalized difference vegetation index, NDVI). Разработанные алгоритмы позволяют спрогнозировать прибавку урожая от азотной подкормки при планируемом уровне урожайности и рассчитать дозу азота для заданной эффективности его использования растениями на основании разницы между расчетными величинами урожайности с проведением подкормки и без нее. На рис. 1А и 1Б показано, как в рамках теоретической модели вырабатываются рекомендации для пшеницы, когда урожайность и отзывчивость на азотную подкормку оцениваются, исходя из определения индекса NDVI в определенную фазу развития растений (стадия 10-12-ти листьев у кукурузы или 1-2-го узла у пшеницы) на специально заложенных референсных участках с высоким уровнем азотного питания



Автор (справа) и А. Бианчини (AAPRESID) проверяют результаты определения индекса NDVI в посевах кукурузы с помощью сенсора GreenSeeker.

растений и на остальном поле. Модель ограничивает планируемую урожайность зерна и эффективность использования азота из удобрений в соответствии с заданными пределами.

Зональные данные, полученные с учетом пестроты почвенно-климатических условий при выращивании пшеницы, позволили провести проверку указанных зависимостей и разработать модели для прогнозирования урожайности данной культуры применительно к условиям Аргентины. На **рис. 2** в качестве примера показана полученная в INTA (г. Парана, провинция Энтре-Риос) зависимость между значениями индекса NDVI, определенными с помощью сенсора GreenSeeker, и урожайностью зерна пшеницы. Аналогичные массивы данных были также получены и для кукурузы, а разработанные впоследствии уравнения были интегрированы в базу данных, доступную по адресу: <http://www.soiltesting.okstate.edu/sbnrc/sbnrc.php>

Обобщенные результаты исследований для кукурузы и пшеницы

Разработка модели для кукурузы потребовала изучения эффективности внесения азота в подкормку при выращивании данной культуры. Результаты исследований, проведенных в США, показали достаточно высокую эффективность подкормок азотом между стадиями 6-ти и 14-ти листьев (Scharf et al., 2002; Randall et al., 2003). Удлинение сроков внесения азота позволяет синхронизировать поступление азота в растения с их потребностью в данном элементе питания и тем самым снизить риск принятия ошибочных решений, поскольку влияние многих факторов, обуславливающих урожай, с ростом растений становится все более отчетливым. Хотя получены обнадеживающие результаты (Melchiori et al., 2004; 2005; 2006), следует отметить, что для нормального прохода техники на более поздних стадиях развития растений необходима ширина междурядий

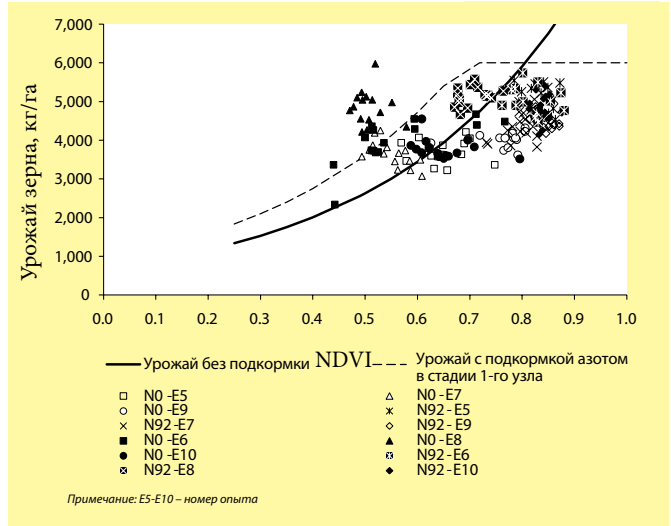


Рис. 4. Отзывчивость пшеницы на подкормку азотом (92 кг N/га в стадии 1-го узла) в разных почвенно-климатических условиях Параны (провинция Энтре-Риос) в 2006-2008 гг.

в 52 см (это шире, чем обычно применяется для кукурузы в Аргентине), и что необходимость таких подкормок также зависит от вероятности выпадения дождей непосредственно после проведения подкормок.

Усредненные результаты, полученные за семь сезонов выращивания в Паране (2002-2008 гг.), свидетельствуют о том, что в результате проведения азотных подкормок можно получить прибавку урожая кукурузы. Средние прибавки урожая были одинаковы как при подкормке с единой для всего поля дозой азота, так и при дифференцированной подкормке, проведенной с использованием сенсоров, однако в последнем случае общее количество внесенного азота было меньше, и, следовательно, повышалась окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая (**рис. 3**).

Исследования для пшеницы включали разработку прогностических уравнений, связывающих урожайность с индексом NDVI, а также оценку влияния сорта, длины вегетационного периода, особенностей кущения, припосевных доз азота и доступности влаги на получаемые результаты. Все эти факторы оказывают влияние на определение индекса NDVI.

В период с 2006 г. по 2008 г. на Сельскохозяйственной опытной станции INTA в Паране было проведено 19 полевых опытов, в которых варианты закладывались в виде полос вдоль всего поля. Как правило, опыты включали полосы-варианты, где в подкормку вносились следующие дозы азота: рекомендованная для конкретного поля, не лимитирующая урожай (референсная полоса) и установленная с помощью сенсоров (Melchiori et al., 2008b). В некоторых случаях добавлялись полосы-варианты без припосевного внесения азота – только с подкормкой. На **рис. 4** показана зависимость между урожайностью зерна пшеницы и индексом NDVI, которая получена в полевых опытах при использовании алгоритма, выложенного на сайте OSU: <http://www.soiltesting.okstate.edu>. Данный алгоритм аналогичен



Поле пшеницы на Сельскохозяйственной опытной станции INTA в Паране (провинция Энтре-Риос).

теоретической модели, представленной на **рис. 1а**.

Настройка систем дифференцированного внесения подкормок

Недавно мы начали работу по оценке системы дифференцированного внесения азотных удобрений в подкормку (GreenSeeker RT 200, «Энттех Индастриз», г. Укиах, штат Калифорния, США) в полевых опытах. Данная система позволяет устанавливать сенсоры на машинах для внесения удобрений, при этом полученные данные обрабатываются на компьютере для определения доз внесения азота, и, уже исходя из этого, в режиме реального времени осуществляется дифференцированное внесение азотных удобрений.

Результаты оценки различных конфигураций с разным количеством сенсоров свидетельствуют о том, что для пшеницы и кукурузы приемлемое определение индекса NDVI и допустимое варьирование получаемых данных достигаются при использовании от 4-х до 6-ти сенсоров на стандартных машинах для внесения удобрений. При этом варьирование индекса NDVI снижается по мере развития растений.

Будущая работа должна быть направлена на проведение исследований по применению наземных сенсоров в более широком диапазоне почвенно-климатических условий для получения более надежных моделей азотного питания растений и разработки зональных методик, а также необходимых технических средств.

Благодарности от автора

Д-ру У. Рауну (OSU), А. Бианчини (AAPRESID) и сотрудникам Сельскохозяйственной опытной станции в Паране, участвующих в Проекте INTA по точному земледелию.

Работа финансировалась в соответствии с Договором между INTA, PROFERTIL и AAPRESID («Повышение эффективности использования азота с помощью методов наземного зондирования»),

из проекта INTA («Разработка и применение методов точного земледелия для управления агротехнологиями выращивания сельскохозяйственных культур» (АЕА13722)), а также компаниями PASA и D&E SA.

Р. Мелхиори – магистр, агроном-исследователь Группы по природным ресурсам и абиотическим факторам Сельскохозяйственной опытной станции в Паране Национального института агротехнологий (г. Парана, провинция Энтре-Риос, Аргентина); e-mail: rmelchiori@parana.inta.gov.ar.

Перевод с английского под редакцией В.В. Носова, С.Е. Ивановой.

Литература

- Melchiori, R.J.M., O.P. Caviglia, S.M. Albarenque, N. Faccendini, and A. Bianchini, 2008a. *Actas VII Congreso Nacional de Trigo.*
- Melchiori, Ricardo, Octavio P. Caviglia, S.M. Albarenque, Nelson Faccendini, Agustin Bianchini, and W.R. Raun. 2007. *International Annual Meetings, ASA-CSSA-SSSA, Nov 4-8. New Orleans.*
- Melchiori, Ricardo, Pedro Barbagelata, Susana M. Albarenque, Agustin A. Bianchini, and William Raun. 2008b. *Abstract submission to 9th International Conference on Precision Agriculture. Denver, Colorado. July 20-23.*
- Melchiori, R.J.M., O. Caviglia, and A. Bianchini. 2004. *ASA-CSSA-SSSA Annual Meetings. Seattle, Washington.*
- Melchiori, R.J.M., O.P. Caviglia, A. Bianchini, N. Faccendini, and W. Raun. 2005. *VII Congreso Nacional de Maíz. Pp. 218-220. Rosario, Argentina.*
- Melchiori, R.J.M., O.P. Caviglia, A. Bianchini, N. Faccendini, and W. Raun. 2006. *ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings. Indianapolis, IN, November 12-16.*
- Randall, G.W., J.A. Vetsch, and J.R. Huffman. 2003. *Agron. J. 95:1213-1219.*
- Raun, W.R. and G.V. Johnson. 1999. *Agron. J. 91: 357-363.*
- Raun, W.R., J.B. Solie, M.L. Stone, K.L. Martin, K.W. Freeman, R.W. Mullen, H. Zhang, J.S. Schepers, and V. Jonson. 2005. *Comm. in Soil Sci. and Plant Anal. 36:2759-2781.*
- Scharf, P.C., W.J. Wiebold, and J.A. Lory. 2002. *Agron. J. 94:435-441.*



Обзор научных публикаций:

В этом разделе приводится краткий обзор наиболее интересных, на наш взгляд, публикаций в отечественных научных изданиях

Влияние некорневой подкормки микроудобрениями на продуктивность сахарной свеклы и содержание в ней макроэлементов.

Жердецкий И.Н., Заришняк А.С., Ступенко А.В. 2010. *Агрoхимия*, 10: 20-27.

Изучено влияние различных доз, сроков и кратности некорневых подкормок сахарной свеклы микроудобрениями в хелатной форме (В, Мо, Мп, Сu, Zn, Со) на урожайность, процессы поглощения и перераспределения азота, фосфора и калия в листьях и корнеплодах. Показано, что некорневая подкормка микроудобрениями снижала содержание основных элементов питания (N, P и K) в корнеплодах, что повысило их технологическое качество. В то же время содержание этих элементов в листьях возрастало, что приводило к увеличению продуктивности сахарной свеклы. Оптимизация системы удобрения сахарной свеклы за счет некорневой подкормки микроудобрениями привела к увеличению коэффициентов использования азота, калия и фосфора из минеральных удобрений, а общий вынос N, P₂O₅ и K₂O с 1 га корнеплодами и листьями существенно возрос. При этом прирост урожайности достигал 8,7-10%, а сахаристость увеличивалась на 0.8-0.9%.

Действие микроудобрений на урожайность, сбор белка и качество продукции зерновых и зернобобовых культур.

Аристархов А.Н., Толстоусов В.П., Харитонов А.Ф., Ефимова Н.К., Бушуев Н.Н. 2010. *Агрoхимия*, 9: 36-49.

Впервые обобщены результаты 405 полевых опытов, проведенных агрохимслужбой по изучению влияния микроудобрений (В, Мо, Zn, Сu, Мп, Со) на урожайность и качество зерна зерновых и зернобобовых культур (озимая пшеница, яровая пшеница, ячмень, кукуруза на зерно и силос, горох и соя). В опытах изучали не только разные дозы микроудобрений, но и различные способы их внесения, такие как внесение в почву с основным удобрением (основное удобрение), некорневая подкормка растений, обработка семян препаратами, содержащими микроудобрения.

Исследования показали, следующее влияние микроудобрений на урожайность и качество **озимой пшеницы**.

По действию на повышение содержания белка в зерне микроэлементы образуют убывающий ряд: Zn > Со > Сu.

Борные микроудобрения при основном внесении на фоне с NPK на дерново-подзолистых почвах южно-таежно-лесной зоны обеспечивали прибавку уро-

жая до 2.1 ц/га, при этом урожайность достигала 49 ц/га, а содержание белка и клейковины составляло 14 и 31% соответственно.

В лесостепной зоне на выщелоченных и оподзоленных черноземах более устойчивый положительный эффект на урожайность оказывала обработка семян перед посевом. Борные микроудобрения на фоне с NPK обеспечивали прибавку урожая до 2.8 ц/га, при этом урожайность достигала 41 ц/га, а содержание белка и клейковины составляло 10 и 30% соответственно.

Молибденовые удобрения оказывали более значительное влияние как на урожайность, так и на качество зерна по сравнению с борными. При основном внесении на фоне с NPK на дерново-подзолистых почвах южно-таежно-лесной зоны молибденовые удобрения обеспечивали прибавку урожая до 2.3 ц/га, при этом урожайность достигала 52 ц/га, а содержание белка и клейковины достигало 14 и 32% соответственно.

В лесостепной зоне при основном внесении на фоне с NPK на дерново-подзолистых почвах молибденовые удобрения обеспечивали прибавку урожая до 2.7 ц/га, при этом урожайность достигала 48 ц/га, а содержание белка и клейковины составляло 13 и 32% соответственно.

Наибольший эффект от **цинковых** удобрений был получен на дерново-подзолистых почвах южно-таежно-лесной зоны. При основном внесении на фоне с NPK цинковые удобрения обеспечивали прибавку урожая до 5.6 ц/га, при этом урожайность достигала 41 ц/га, а содержание белка и клейковины увеличивалось на 2.4 и 3.4% соответственно.

В лесостепной зоне на выщелоченных и оподзоленных черноземах при основном внесении на фоне с NPK цинковые удобрения обеспечивали прибавку урожая до 0.8 ц/га, при этом урожайность достигала 43 ц/га, а содержание белка и клейковины возросло до 15 и 29% соответственно. Некорневые подкормки обеспечивали прибавку урожая до 6.7 ц/га.

В степной зоне на обыкновенных черноземах при основном внесении на фоне с NPK цинковые удобрения обеспечивали прибавку урожая до 4.8 ц/га, при этом урожайность достигала 52 ц/га, а содержание белка и клейковины - 14.5 и 37.5% соответственно.

В сухостепной зоне на темнокаштановых почвах при основном внесении на фоне с NPK цинковые удобрения обеспечивали прибавку урожая до 2.5 ц/га, при этом урожайность достигала 45 ц/га, а содержание белка и клейковины возросло до 13.7 и 25% соответственно.

Влияние **медных** микроудобрений на повышение урожайности и качества зерна озимой пшеницы установлено во всех изученных природно-климатических зонах страны. На дерново-подзолистых почвах юж-

но-таежно-лесной зоны при основном внесении на фоне с NPK медные удобрения обеспечивали прибавку урожая до 4.3 ц/га, а содержание белка увеличивалось на 0.3-1.3%.

В лесостепной зоне на выщелоченных черноземах лучшим способом внесения оказалась предпосевная обработка семян, которая на фоне с NPK обеспечила прибавку урожая до 6.8 ц/га, при этом урожайность достигала 51 ц/га, содержание белка увеличивалось на 0.2-1.5%, а клейковины – на 2.0-6.3%.

Марганцевые удобрения также оказывали существенное положительное влияние на урожайность и качество зерна во всех изученных природно-климатических зонах страны. Даже в южно-таежной зоне на известкованных дерново-подзолистых почвах основное внесение марганцевых удобрений увеличивало урожайность на 2.1-6.2 ц/га.

В лесостепной зоне на обыкновенных черноземах неконевые подкормки на фоне с NPK обеспечили прибавку урожая до 1.1 ц/га, содержание белка увели-

чилось на 0.2-1.6%, клейковины – на 0.5-4.8%.

С сухостепной зоне на темно-каштановых почвах основное внесение марганцевых микроудобрений удобрений на фоне с NPK приводило к увеличению урожайности на 1.7-3.5 ц/га, содержания белка на 0.1-0.8%, а клейковины – на 2.0-4.0%.

Влияние кобальтовых удобрений на урожай и качество зерна озимой пшеницы изучено недостаточно.

В статье также подробно обобщены данные опытов агрохимслужбы по влиянию микроудобрений на урожай и качество зерна яровой пшеницы, а также ячменя, кукурузы на зерно и силос, гороха и сои в опытах, проведенных в 1954-1989 гг.

Обобщение результатов опытов позволило сделать заключение о том, что борные, цинковые, медные и марганцевые микроудобрения в большинстве природно-сельскохозяйственных зон целесообразно использовать при основном внесении в почву, тогда как молибденовые и кобальтовые – при обработке посевов и семян.

Обзор научных публикаций: BETTER CROPS with plant food, №4, 2010

Ежеквартальный журнал

Международного института питания растений

(онлайн в свободном доступе ><http://www.ipni.net/bettercrops><)

Использование фосфоритной муки в качестве удобрения

С.Х. (Норман) Чиен, Луис И. Прохнов, Роберт Миккельсен

Фосфор критически необходим для повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур во многих регионах мира. Показано, что фосфоритная мука в ряде почвенно-климатических условий является ценным источником элементов питания для растений. В статье приведен обзор агрономической эффективности фосфоритной муки в сравнении с водорастворимым фосфорным удобрением.

Потери азота из карбамида на кофейных плантациях

Луис Лил, Альвейро Саламанка, Сявош Садегиан

Кофе отзывается на азотные удобрения во всех регионах мира, где выращивается данная культура. В Колумбии рекомендуется применять от 120 до 300 кг N/га в год в зависимости от содержания органического вещества в почве, уровня затенения плантаций и плотности посадки растений. Без внесения азота под данную культуру возможно снижение урожая на

30–50%. Карбамид является наиболее распространенной формой азотного удобрения, используемой при возделывании кофе в Колумбии, что связано с высоким содержанием азота и относительно низкой ценой этого удобрения. В большинстве почвенно-климатических условий в регионах выращивания кофе в Колумбии возможны большие газообразные потери азота из внесенного вразброс карбамида. Однако полевые опыты для количественной оценки этих потерь в стране не проводились.

Плодородие почв Северной Америки в 2010 г.

Пол Е. Фиксен, Том В. Бруулсема, Том Л. Дженсен, Роберт Миккельсен, Т. Скотт Мюррелл, Стив Б. Филлипс, Квентин Ранд, В. Майк Стюарт

Международный институт питания растений (IPNI) при участии многочисленных частных и государственных почвенно-аналитических лабораторий периодически обобщает результаты почвенных анализов в Северной Америке. Эти данные позволяют оценить относительную способность почв обеспечивать растения элементами питания. Следовательно, подобные обобщения показывают способность почв снабжать растения тем или иным элементом питания

или, другими словами, состояние плодородия почв в Северной Америке. Это уже десятое обобщение, выполненное IPNI и его предшественником – Институтом фосфора и калия (PPI), а первое обобщение было опубликовано в конце 60-х годов (Nelson, 1980).

Роль питания растений в снижении недобора урожая яровой пшеницы в Сибири

Г. Гамзиков, В. Носов

Минеральные удобрения и другие средства химизации необходимы для получения высоких и устойчивых урожаев яровой пшеницы – основной полевой культуры в Сибири. В статье проанализирована достижимая урожайность яровой пшеницы по основным почвенно-климатическим зонам региона. Авторами охарактеризован уровень применения минеральных удобрений в Сибири и дан краткосрочный прогноз их потребления в регионе с учетом минимальной потребности сельскохозяйственных культур в элементах питания.

Агрономическое образование и кредитная покупка удобрений обеспечивают экологически и социально преимущественно фермерам, выращивающим кофе. Новые данные

Рейлес Запата, Хосе Эспиноза

В 2007 г. в статье, опубликованной в журнале *Better Crops*, была описана успешная программа в Перу, финансируемая из частных источников, которая позволила семьям фермеров повысить свой уровень жизни и улучшить управление почвенным плодородием при выращивании кофе. Сотрудники IPNI принимали участие в данной программе, занимаясь агрономическим образованием. В этой статье дается краткая история «Семейной программы», а также новые данные об ее успехах.

Интенсификация растениеводства в мире снижает эмиссию парниковых газов

Клиф Снайдер, Том Бруулсема, Вальтер Касарин, Фанг Чен, Рауль Джарамилло, Том Дженсен, Роберт Миккельсен, Роб Нортон, Т. Сатьянараяна, Шишуа Ту

Население Земли увеличилось с 3.08 миллиарда человек в 1961 г. до более чем 6.51 миллиарда человек в 2005 г. (прирост на 111%) и, как ожидается, достигнет почти 9-ти миллиардов к 2050 г. Такой рост народонаселения приведет к 70%-ному увеличению потребности в продовольствии. Можно ли обеспечить требуемое увеличение производства продовольствия, и если ответ «да», как это повлияет на эмиссию парниковых газов и приведет ли к изменению климата? В недавно опубликованной статье

в научном журнале (Burney et al., 2010) были даны ответы на некоторые вопросы.

Технологии точного земледелия повнесению калия в прикорневую зону кукурузы – размышления о будущем

Т.С. Мюррелл, Т.Дж. Вин

Технологии точного земледелия позволяют контролировать удобряемый объем почвы, чтобы со временем создать зоны с высоким плодородием. Однако еще не совсем понятно, как обеспечить оптимальную отзывчивость растений в краткосрочном и длительном временном интервале. Говоря о применении калийных удобрений, необходимо учитывать, как долго сохраняется высокое плодородие почвы после их ленточного внесения, а также перераспределение калия в почве, которое происходит при нормальном развитии данной культуры. Исследования показывают, что содержание калия в почве в большей степени зависит от того, проходил ли через данную точку поля ряд предшествующей культуры, чем от местоположения лент, куда ранее вносились калийные удобрения.

Оценка дифференцированного применения азотных удобрений под рис на полях фермеров в режиме реального времени

Хармандип Сингх, К.Н. Шарма, Гагандип Сингх Дхиллон, Аманприт, Тедждип Сингх, Вики Сингх, Динеш Кумар, Биджай Сингх, Хармандип Сингх

На фермерских полях проведены опыты для оценки методов дифференцированного применения азотных удобрений под рис в режиме реального времени и при фиксированной дате внесения удобрений с использованием цветной шкалы окраски листьев (leaf color chart, LCC) в сравнении с общепринятыми рекомендациями для Штата и фермерской практикой внесения удобрений. Дифференцированное применение азотных удобрений с фиксированной датой внесения обеспечило получение таких же урожаев, как и внесение удобрений в режиме реального времени или в соответствии с общепринятыми рекомендациями, хотя и наблюдались значительные различия в эффективности использования азота из удобрений.

Пулу глерода и азота в почвах при неограниченном применении азотных удобрений и орошении при выращивании овощей в защищенном грунте

С.Дж. Ки, К. Т. Джу

В условиях равнинной территории северной части Китая используемое количество азотных удобрений и поливной воды при выращивании овощей в

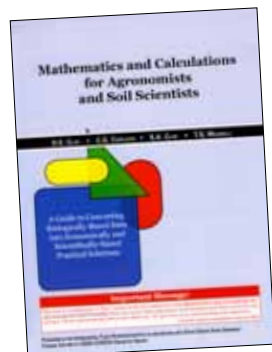
защищенном грунте примерно в три-пять раз выше, чем при традиционном возделывании зерновых культур. За десятилетие при переходе от традиционных систем выращивания зерновых к овощеводству

защищенного грунта упала емкость круговорота элементов питания. Кроме того, произошло резкое уменьшение содержания неорганического углерода в почвенном профиле систем защищенного грунта.

Научно-практическая литература

Математика и вычисления для агрономов и почвоведов

(на английском языке)



Язык информационной эпохи – это язык математики и компьютеров. Цель данного руководства, превышающего по объему 200 стр., – научить студентов выстраивать, проверять и внедрять инновационные стратегии управления, обладающие большими возможностями для увеличения чистой прибыли, а также улучшения состояния окружающей среды. Умение интегрировать математику и технологические достижения при принятии решений требует базового понимания научного метода, методик проведения опытов и анализа их результатов. Кроме того, необходимы знания о том, как развивать и проверять концептуальные и математические модели.

Номер публикации: 50-5400

Стоимость: \$45.00. Сделать заказ можно на сайте >www.ipni.net<

Рациональные технологии возделывания



Рентабельность растениеводства – основная цель сельхозпроизводителей. Сбалансированное минеральное питание растений в сочетании с грамотно подобранными агротехнологиями улучшает общую экономическую отдачу, повышает эффективность применения минеральных удобрений и обеспечивает экологическую безопасность в растениеводстве. Серия буклетов содержит информацию об основных возделываемых сельскохозяйственных культурах.

Кукуруза

Номер публикации: 05-1510

Стоимость: \$0.25

Озимая пшеница

Номер публикации: 05-1530

Стоимость: \$0.25

Яровая пшеница

Номер публикации: 05-1540

Стоимость: \$0.25

Зерновое сорго

Номер публикации: 05-1590

Стоимость: \$0.25

Люцерна

Номер публикации: 05-1550

Стоимость: \$0.25

Соя

Номер публикации: 05-1560

Стоимость: \$0.25

Рапс

Номер публикации: 05-1570

Стоимость: \$0.25

Сделать заказ можно на сайте

>www.ipni.net<

Микроэлементы для устойчивого производства продовольствия, кормов, растительных волокон и биоэнергии

(на английском языке)



Эта книга адресована специалистам-практикам и акционерам предприятий-производителей удобрений, а также управленцам, от чьих решений зависит применение микроудобрений в растениеводстве, садоводстве и лесном хозяйстве. Цель книги – раскрыть возрастающую роль микроэлементов в системе сбалансированного применения удобрений; рассмотреть виды микроудобрений, которые выпускаются в настоящее время, и наиболее эффективные способы их внесения; оценить современный рынок микроудобрений и перспективы их потребления. В книге также обсуждаются стратегии, нормативы и системы контроля качества, которые требуются для получения максимальной отдачи от использования микроудобрений.

Книга доступна в электронном виде на сайте IFA (www.fertilizer.com) по адресу: ><http://www.fertilizer.org/ifa/HomePage/LIBRARY/Publication-database.html/Micronutrients-for-Sustainable-Food-Feed-Fibre-and-Bioenergy-Production.html><

Студенческая премия - 2011

Международный институт питания растений ежегодно проводит конкурс научных работ студентов и аспирантов в области питания растений в основных сельскохозяйственных регионах мира. С 2009 года конкурс проводится в России, Украине и Казахстане в рамках программы института по Восточной Европе и Центральной Азии.

Премия в размере 2000\$ присуждается студентам старших курсов и аспирантам за научные работы в области питания растений и разработки систем применения удобрений.

Премия присуждается только студентам и аспирантам независимо от получения других премий. Никаких специальных требований к претендентам не предъявляется.

Адрес для подачи заявок:

- на английском языке (предпочтительно): ><http://www.ipni.net/scholar><
- на русском языке: >aerofeeva@ipni.net<

Условия участия

Участники конкурса - аспиранты или студенты последних курсов (специалитета и магистратуры). При прочих равных условиях преимущество имеют студенты более младших курсов.

Работы будут в первую очередь оцениваться с точки зрения соответствия целям Международного института питания растений.

Принимаются работы в следующих областях: почвоведение, агрохимия, растениеводство, агрономия, экология, химия почв, физиология растений, и смежные.

Победители не могут повторно участвовать в конкурсе, премия присуждается только один раз.



Вручение диплома победительнице конкурса Scholar Award – 2009 Полине Котьяк (Ярославская ГСХА)

Для участия в конкурсе необходимы следующие документы:

- Отсканированная зачетная книжка (для аспирантов – результаты сдачи кандидатских минимумов), средний балл.
- Три письма-рецензии на работу, одно из них – от научного руководителя. Письма должны быть оформлены на официальном бланке организации, подписаны автором. Необходимо также указание телефонного номера и электронного адреса автора письма.
- Краткое описание работы, позволяющее оценить ее оригинальность, глубину, информативность, новизну и значимость для IPNI.
- В прилагаемой анкете необходимо кратко перечислить имеющиеся награды и премии, внеаучную деятельность, карьерные планы

Сроки

Документы должны быть поданы до 30 июня 2011г.


Результаты будут объявлены в сентябре 2011 г. Награда будет вручена сразу после публикации результатов.

Анкету участника можно скачать здесь:

><http://eeca.ipni.net/articles/EECA0060-EN><

Компании - члены IPNI

	Agrium Inc.		Great Salt Lake Minerals
	Arab Fertilizer Association (AFA)		Intrepid Potash, Inc.
	Arab Potash Company		K+S KALI GmbH
	Белорусская калийная компания		The Mosaic Company
	CF Industries Holdings, Inc.		OCP S.A.
	Canadian Fertilizer Institute (CFI)		PotashCorp
	Incitec Pivot		Simplot
	International Fertilizer Association (IFA)		Sinofert Holdings Limited
	International Potash Institute (IPI)		SQM
	Vale Fertilizantes S.A.		The Fertilizer Institute (TFI)
	International Raw Materials LTD		Уралкалий
			Fertiliser Association of India (FAI)
			Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA)



МЕЖДУНАРОДНЫЙ
ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ
ИНСТИТУТ

Восточная Европа и Центральная Азия

125466 Российская Федерация, Москва, ул. Ландышевая, д.12, вл. 17
Тел./Факс: 8 (495) 637 92 93
eeca.ipni.net
www.ipni.net
ipni-eeca@ipni.net

*Выше урожай и качество, сохраняя окружающую среду...
С помощью науки*

